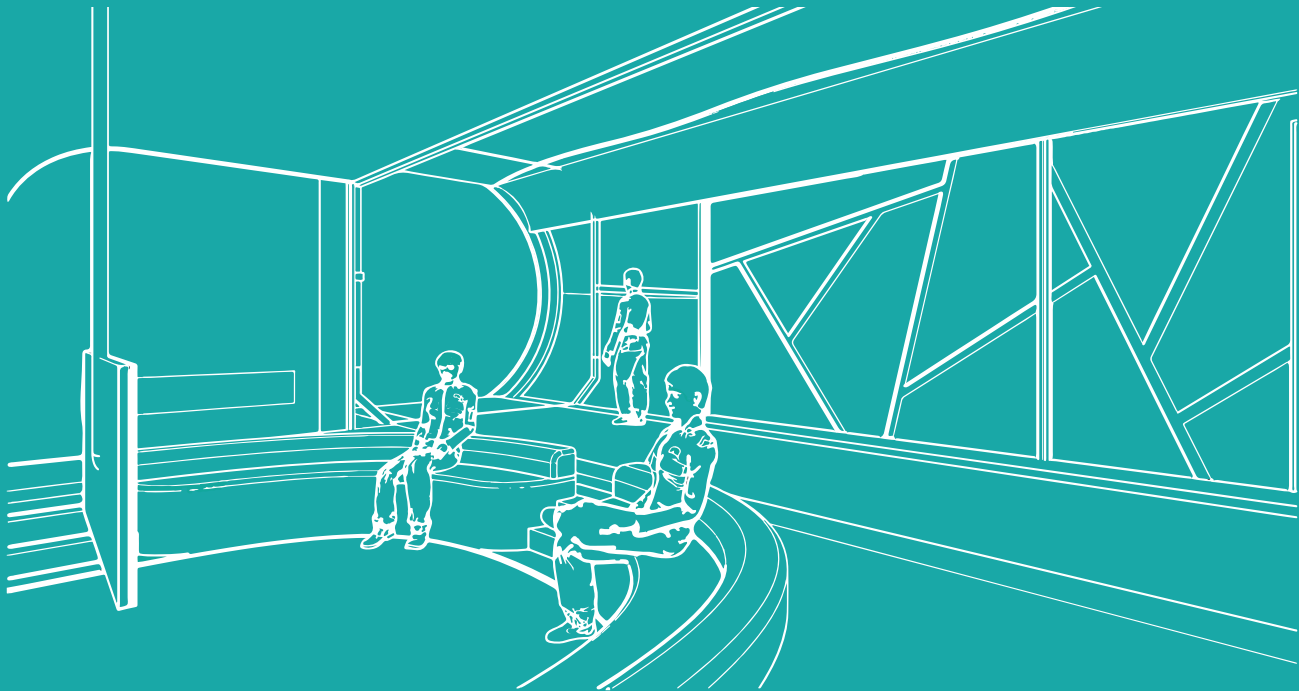


Guía de diseño arquitectónico para módulos espaciales inflables DMF con base en estudios de Neuroarquitectura

Configuración espacial y atmósfera arquitectónica



Anexo

Autora: Mónica Queupan Calderón
Profesor referente: Pedro Serrano/ Profesor co-referente: Fernando Hammersley
Enero 2023

Presentación

La presente Guía de diseño comienza describiendo las ventajas del **módulo DMF**, de modo que estas se usen para establecer una estructura en específico para el cual se va a implementar criterios arquitectónicos. Se plantea una **organización interior de acuerdo a los usos que se le darán a los espacios**, empezando por los programas arquitectónicos en el contexto de los viajes espaciales (dormir, higiene, trabajo, deporte, ocio y alimentación), y luego presentando una síntesis de la afinidad de estos, con el fin de proponer un diseño más eficiente tomando en cuenta el ahorro de espacio y compatibilidad de varias actividades en un mismo espacio. Además, se presentan otros puntos a tener en cuenta, como los parámetros generales de la misión, elementos que deben considerarse para conocer los objetivos y el comportamiento de la tripulación.

En este punto, se introduce la **Neuroarquitectura a las decisiones de diseño**, estudiando elementos como la altura de techo, el color, la iluminación, realidad virtual, textura y vegetación. Todos estos, parámetros que se pueden implementar en un diseño teórico. Finalmente se presenta una matriz con los componentes mencionados anteriormente, ideando una estrategia de diseño que será aplicado a un módulo DMF con insumos visuales.

Índice

Presentación	
Índice	
Justificación	
Delimitaciones	
Objetivos	
Metodología	
1. Antecedentes: Módulo DMF (<i>Deployable Modular Frame</i>)	
2. Organización del uso de los espacios	
3. Neuroarquitectura incorporada en las decisiones de diseño	
4. Matriz para aplicar bases de la Neuroarquitectura al diseño.	
5. Bibliografía	

1.1. Características de los módulos inflables	
1.2. Módulo " <i>DMF: Deployable Modular Frame</i> "	
1.3. Arquitectura Módulo <i>DMF</i>	
2.1. Programas arquitectónicos en el contexto de los viajes espaciales	
2.1.1. Dormir/ Descanso/ Relajo	
2.1.2. Higiene, limpieza y salud	A continuación se relatan las vive
2.1.3. Trabajo/ Investigación	
2.1.4. Deporte	
2.1.5. Ocio	
2.1.6. Alimentación	
2.2. Afinidad entre programas	
2.3. Parámetros generales de la misión	
2.3.1. Horario	
2.3.2. Número de tripulación y duración de la misión	
2.3.4. Objetivos de la misión	
2.3.5. Ergonomía: dimensiones mínimas de los espacios	
3.1. Iluminación	
3.2. Vegetación	
3.3. Color	
3.4. Altura del techo	
3.5. Proximidad entre usuarios	
3.6. Puntos de referencia visual	
3.6.1. Gravedad artificial	
3.7. Textura	
3.8. Realidad Virtual	
4.1. Prototipo módulo DMF	
4.2. Imágenes objetivo	

Justificación

La “Guía de diseño arquitectónico para módulos espaciales inflables DMF (*Deployable Modular Frame*) con base en estudios de Neuroarquitectura” busca brindar pautas y parámetros en el diseño interior de módulos espaciales, específicamente en el tipo DMF. La importancia de este documento se basa en el interés que últimamente ha tenido el diseño de hábitats espaciales en los estudios de pregrado universitario. Por esto se ha buscado aportar a que las bases de cualquier diseño sea desde estudios científicos, en conjunto al estudio de la Neuroarquitectura como regulador de los parámetros de diseños.

Delimitaciones

El diseñador interesado en aplicar estudios de neuroarquitectura a un nivel de propuesta espacial básico podrá con esta guía conocer los principales conceptos a investigar. Si bien se basa en una estructura tipo DMF con configuraciones y dimensiones específicas, los parámetros y pautas de diseño pueden ser adaptadas a otros modelos prediseñados o propuestos que se estimen convenientes. Se incentiva a que el lector indague más en cada concepto desde otras disciplinas (medicina, psicología, diseño de productos, etc.), ya que estos pueden dar una perspectiva más amplia de algún punto en específico y cuestionar lo propuesto por esta guía.

Objetivos

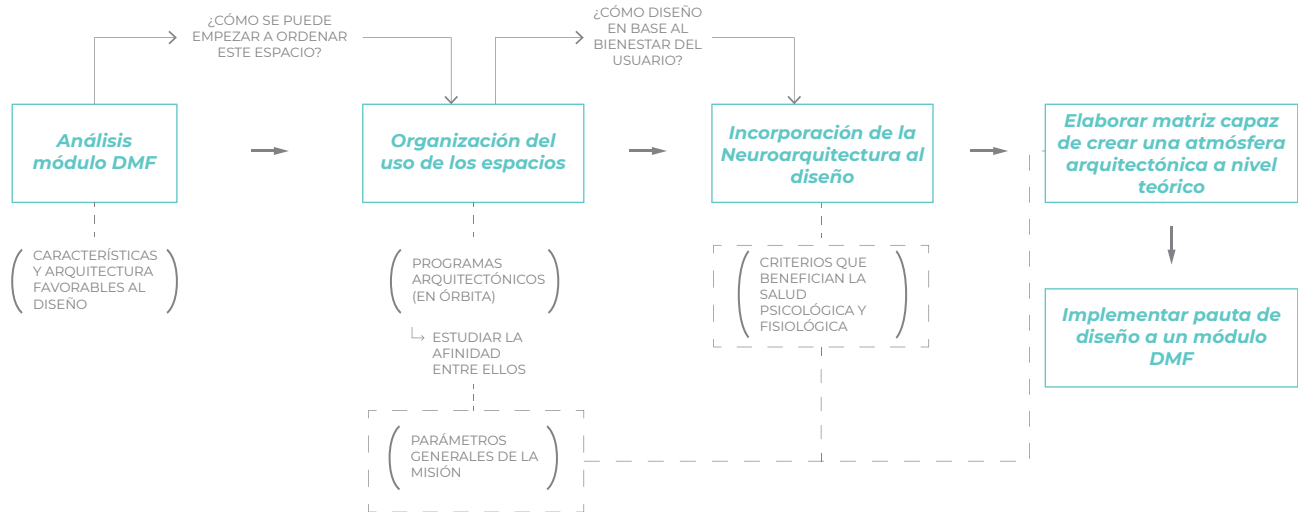
Obj. general

Desarrollar una guía de diseño para la configuración espacial y establecer una atmósfera en torno al bienestar psicológico y fisiológico de los astronautas, que habiten en módulos inflables DMF con base en estudios de Neuroarquitectura.

Obj. específicos

1. Estudiar antecedentes de los módulos inflables DMF, identificando características arquitectónicas que ayudan al diseño flexible del espacio y su multifuncionalidad.
2. Determinar la organización del uso de los espacios considerando los requerimientos de cada programa arquitectónico y los principales parámetros de las misiones en el contexto del interés de exploración espacial actual.
3. Definir los principales criterios de diseño que beneficie la salud psicológica y fisiológica con base en estudios de Neuroarquitectura.
4. Elaborar matriz de diseño de acuerdo a los principales parámetros de las misiones y los criterios de diseño en Neuroarquitectura, que sea capaz de crear una atmósfera arquitectónica a nivel teórico.
5. Implementar matriz de diseño la configuración espacial del módulo DMF.

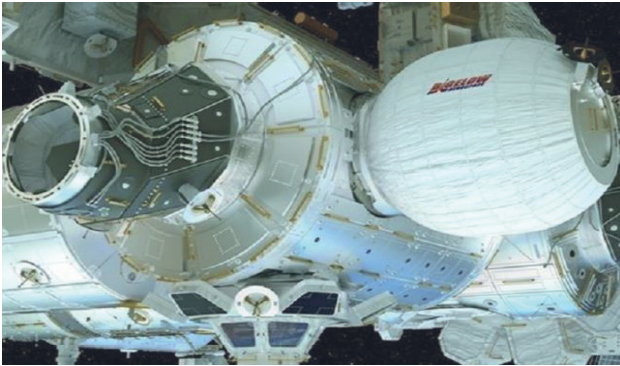
Metodología



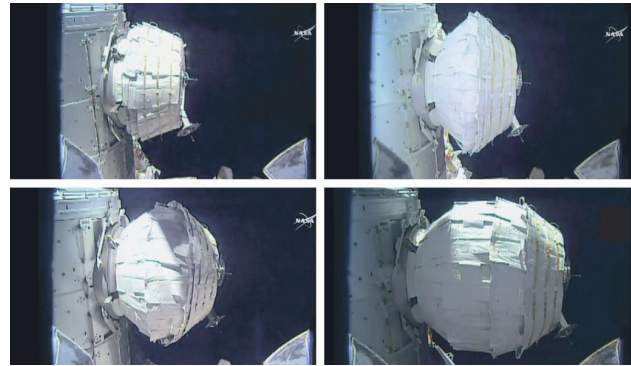
1. Antecedentes:

1.1. Características de los módulos inflables

La manera en la que se han diseñado los módulos espaciales ha variado en formas, tamaño y tipo de despliegue. Los módulos inflables han sido la tecnología en boga. El 2016, Bigelow Aerospace probó el primer módulo de este estilo en la Estación Espacial Internacional (ISS) con el proyecto Bigelow Expandable Activity (BEAM) demostrando la viabilidad de este diseño.



Representación artística del BEAM, la primera estructura inflable en el espacio. Fuente: Bigelow Aerospace.



Secuencias del inflado del BEAM. Fuente:NASA.

Este método de construcción posee las siguientes ventajas por sobre las estructuras convencionales:

1. **Peso:**

La estructura BEAM de 16 metros cúbicos pesa solo 1360 kg al momento del lanzamiento. Una vez armada su densidad puede llegar a ser de 88 kg por metro cúbico (Destiny o Tranquility tienen una densidad de 137 y 194 kg por metro cúbico respectivamente).

2. **Dimensiones:**

En su estado anterior al lanzamiento el módulo plegado puede ocupar un espacio de 1,52 metros por 2,13 metros.

3. **Costo de fabricación:**

17,8 millones de USD, siendo la estructura más económica de construir por sobre las convencionales.

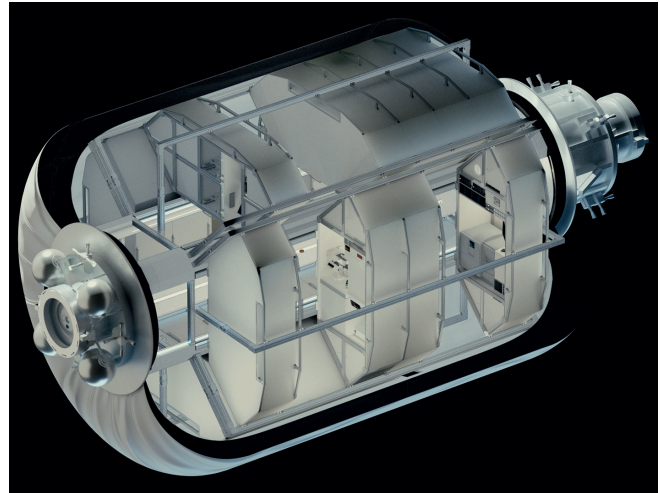
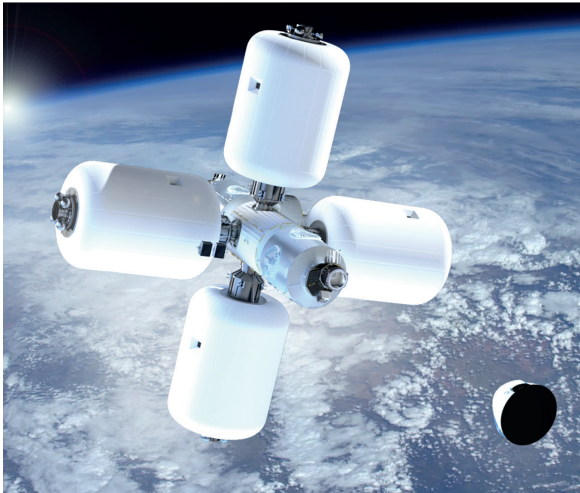
4. **Protección contra la radiación:**

El módulo BEAM protege de manera más eficiente a la tripulación frente a microrradiación en comparación a las estructuras de aluminio, lo que representa una ventaja en la salud de los astronautas.

5. Resistencia al impacto: Los módulos inflables ofrecen una mayor protección que los módulos ISPR (International Standard Payload Rack), se construyen con un material experimental a base de varias capas compuestas de células cerradas de espuma de un polímero de vinilo, siendo lo suficientemente flexibles para absorber el impacto de los micrometeoritos.

1.2. Módulo “DMF: Deployable Modular Frame”

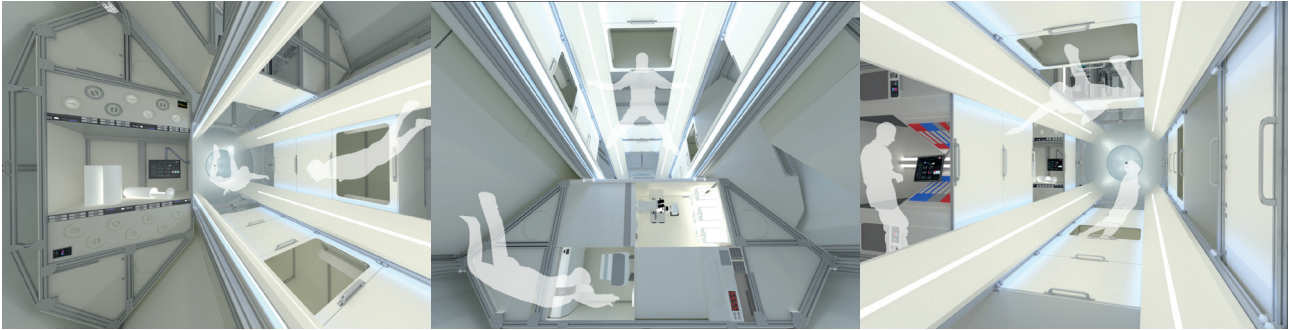
Existen varias maneras de configurar el interior de los módulos inflables, el tipo DMF explora el diseño de una estructura que busca el uso eficiente del espacio aprovechando cada ángulo, es por esta razón que para los fines de esta guía, se usará este estándar de distribución interior.



Representación módulo DMF en nave espacial. Fuente: spacearchitect.org

Los módulos DMF proporcionan rigidez estructural entre las dos esclusas de acceso (estructura principal), agregando una sub-estructura desplegable (estructura secundaria) el cual resguarda los equipos e instrumentos necesarios. La estructura desplegada crea un esqueleto predefinido que guía el montaje de los espacios, ahorrando el esfuerzo que implica montar el diseño interior.

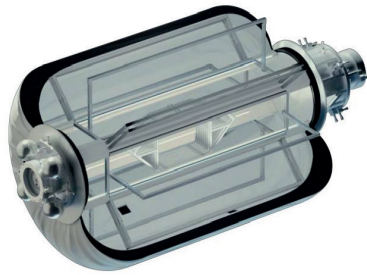
Después del ensamblaje de la estructura principal y secundaria, este sistema de bastidores permite configurar el espacio interior de acuerdo a las necesidades de quienes lo habiten, deslizando los paneles por medio de rieles y creando una estructura a partir de “lleno” o “vacío” de los paneles.



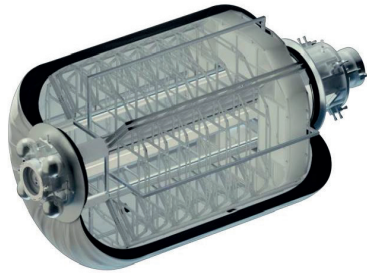
Representación del interior módulo DMF. Fuente: spacearchitect.org



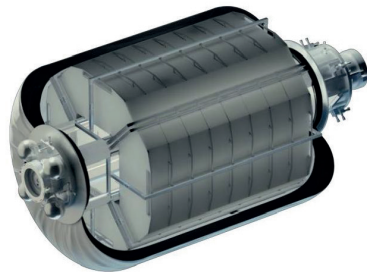
(1) Estructura principal DMF replegada



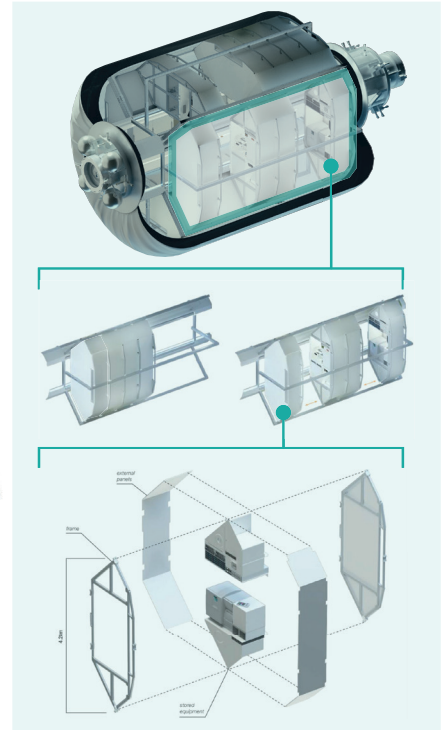
(2) Despliegue estructura de marcos y rieles



(3) Configuración de marco submódulo



(4) Equipamiento de armarios rack.



Secuencias estructura interior módulo con configuración DMF. Elaboración propia. Fuente: spacearchitect.org.

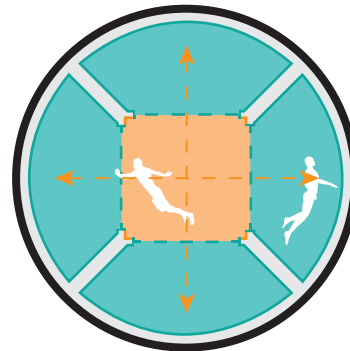
1.3. Arquitectura Módulo DMF

El objetivo del módulo DMF es establecer un nuevo estándar de configuración espacial que pueda sustituir el actual ISRP, en donde las principales diferencias son las siguientes:

1. Configurar el espacio para ofrecer un área más habitable para los astronautas.
2. Utilizar un máximo del 95% del volumen disponible para espacios de almacenamiento, equipos y otras funciones.
3. Configurar el espacio para acomodar tanto el ocupado para fines habitables como el de almacenaje, logrando un uso más eficiente y flexible.
4. Incorpora submódulos desmontables, permitiendo un espacio que varía según el uso que los astronautas requieran.



Configuración módulo convencional ISRP



Configuración módulo DMF



Espacio central del módulo (conectado con esclusas)



Espacio lateral usado para almacenaje (conectado con espacio central)

Comparativa de configuración interior ISRP y DMF. Elaboración propia.

2. Organización de los usos del espacio

2.1. Programas arquitectónicos en el contexto de los viajes espaciales

Al igual que en la Tierra, los astronautas deben realizar actividades según las necesidades que requieran. Si bien estas actividades se deben adaptar al contexto de un espacio hermético, es importante señalar que debe existir una familiaridad con lo realizado en la Tierra, ayudando a que el astronauta se adapte de mejor manera y pueda sobrellevar el periodo de la misión, manteniendo su salud física y mental. Es por esto que la principal estrategia es que los programas arquitectónicos terrestres deban llevar sus principales características a los espacios diseñados en órbita. Los programas desarrollados a diario por los astronautas se agrupan de la siguiente forma: en 0.3 segundos.

DORMIR | ASEO/HIGIENE | TRABAJO/INVESTIGACIÓN | EJERCICIO | OCIO | ALIMENTACIÓN

Antes de detallar las actividades que contiene cada programa, se debe considerar las condiciones ambientales en las que se van a desarrollar. Condiciones que tienen relación con las características del espacio en donde se van a realizar.

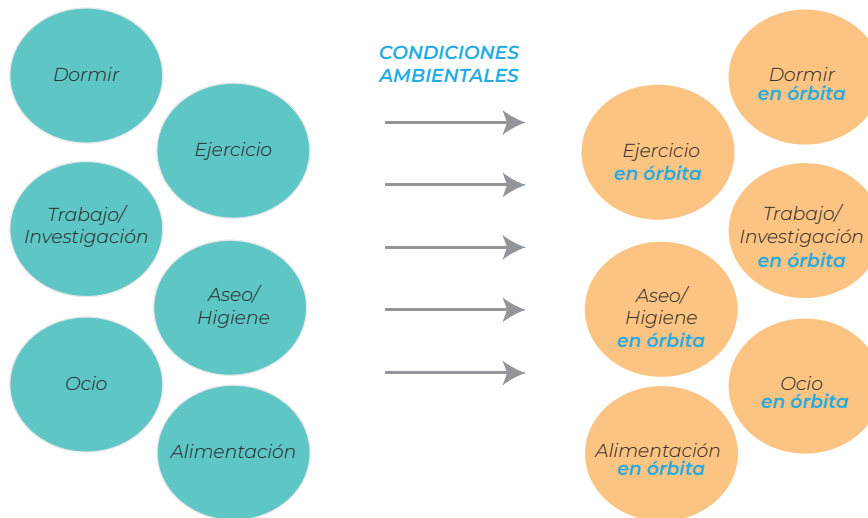


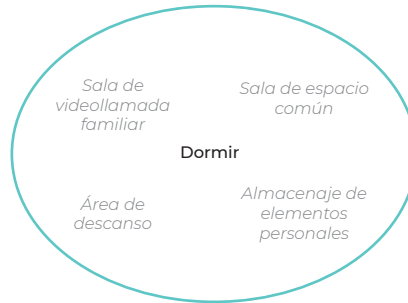
Diagrama de programas arquitectónicos bajo condiciones ambientales. Elaboración propia.

2.1.1. Dormir/ Descanso/ Relajo

Cuando se habla de descanso por lo general se piensa en el “dormir” como la actividad protagonista. Según lo visto en las distintas estaciones espaciales (que solo proponen espacios tipo cabina para el descanso) esta actividad suele estar posicionado en el mismo lugar en donde trabajan los astronautas, causando que estos deban cambiar de un estado activo a uno de descanso. Estos cambios psicológicos abruptos no ayudan a sobrellevar la ardua rutina de trabajo, el ruido, los pensamientos negativos, etc. Es por esto que es necesario proponer espacios que puedan crear una transición que culmine en el descanso de calidad para los astronautas.



Astronauta en su cabina personalizada. Fuente: NASA.



Actividades básicas en torno al descanso. Elaboración propia.



Astronauta en su cabina personalizada. Fuente: NASA.

Para poder diseñar espacios de descanso para los astronautas se puede explorar en los niveles de privacidad y así en lugar de crear una transición inmediata, se opta por realizarlo en etapas, mejorando así la experiencia y calidad del descanso.

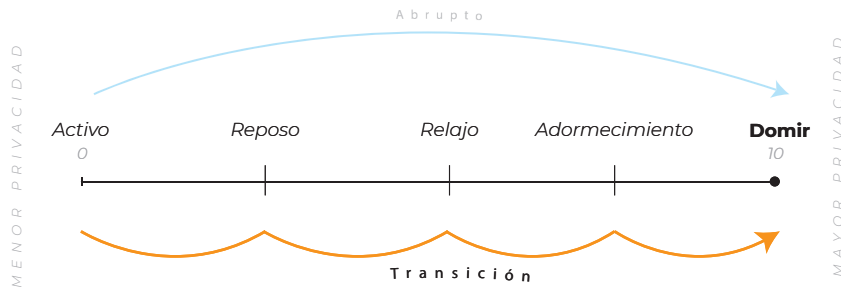
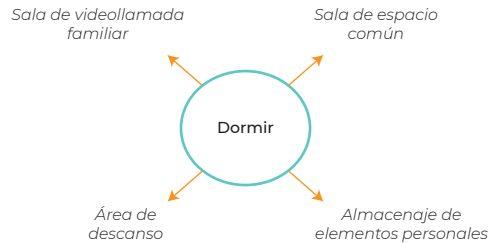


Diagrama de etapas del descanso. Elaboración propia.

En primera instancia se podría proponer dividir los espacios en áreas independientes unas de otras, y así enfocar el diseño en un método de transición entre sectores de menor a mayor privacidad. El siguiente diagrama muestra algunas de las actividades básicas que se pueden desarrollar en el programa de descanso, lo que no implica que existan únicamente estas.



Actividades básicas en torno al descanso. Elaboración propia.

Experiencia del usuario

Una de las principales consideraciones que se debe tener en cuenta es la experiencia del usuario. A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas dentro de las distintas misiones espaciales recopiladas en el Libro *“Architecture for astronauts”* de Häuplik-Meusburger el 2011, documento que expone las características de los espacios diseñados en hábitats orbitales.

*“Experiencia de los astronautas Vladislav Volkov (Salyut 1):
Nuestras áreas para dormir se asemejan a una colmena (en el bosque) donde las abejas entran y salen volando. También hay pequeñas aberturas por las que nos metemos cuando llega la hora de dormir y salimos cuando oímos la orden de despertar (esto significa que el oficial de servicio te despierta tocándote el hombro y, a veces, la cabeza). (Vasilyev, et al., 1974 p.139)”*



Miembros de la tripulación del STS-107 en su estación para dormir en la cubierta intermedia del transbordador espacial Columbia. Fuente: NASA.

“Cada cabina estaba equipada con una ventana de ojo de buey, un saco de dormir "vertical", espacio de almacenamiento personal, una superficie de escritura plegable integrada, intercomunicador y un espejo. Los alojamientos de la tripulación permitían la personalización y los cosmonautas ponían artículos personales o fotografías 'alrededor de sus camas”.

(BJ Bluth, 1987)



El astronauta Norman Thagard en los alojamientos de la tripulación Mir en 1995. Fuente: NASA.

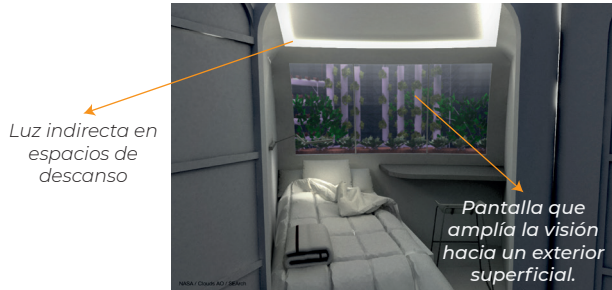
Por un lado, el dormir distribuidos en un mismo espacio puede ser percibido por los astronautas como la manera de generar lazos en la comunidad. Esto representa una oportunidad de organizar el número de tripulantes en el mismo espacio por medio de una división que puede ser traslúcida o permeable, que permita el contacto auditivo y visual entre ellos.

Por otro lado, la experiencia de la personalización del espacio individual es una acción casi intuitiva de los astronautas a lo largo de sus misiones, generar una sensación de territorio o marca, sentirse acogidos en un lugar tan ajeno como lo es un módulo lleno de un ambiente superficial. Esto puede ser percibida como la contraparte de lo anterior, un contraste entre lo público y lo privado. La estrategia de diseño para este programa será generar un equilibrio entre las dos contrapartes.

Referencias

Las siguientes imágenes muestran referencias de como pueden ser diseñados los espacios que van a albergar las actividades nombradas anteriormente.

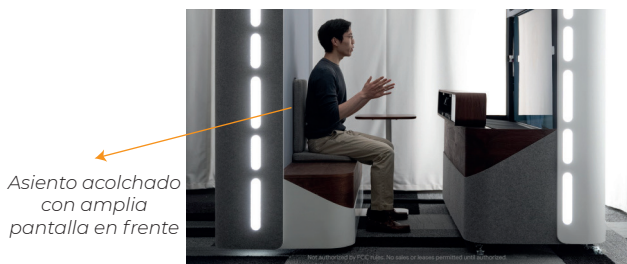
DORMITORIOS



SALAS COMUNES



SALA DE VIDEOLLAMADA FAMILIAR

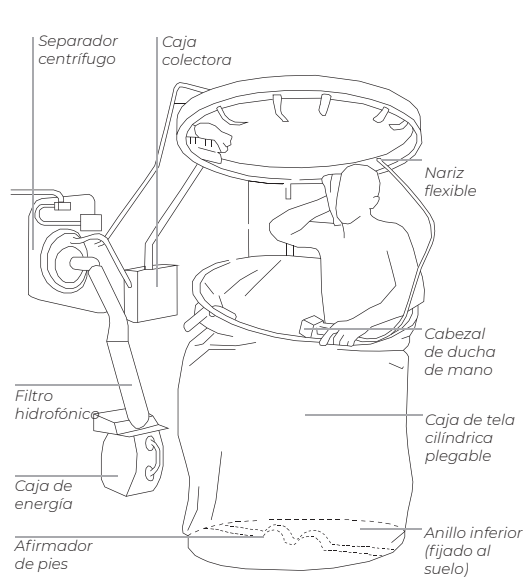


Fuente de las imágenes

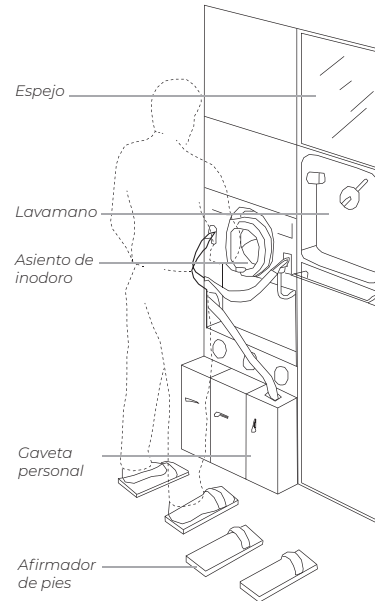
1: MarsIceHome; 2: Hotel cápsula japonés, Nine Hours Narita Airport; 3: Diseño sala de estar futurista, Ec3-ArqdissenyStudio; 4: Cabina futurista, Boeing 737 Next Generation; 5: Project Starline; 6: Sala de reuniones privada, Framery Oy.

2.1.2. Higiene, limpieza y salud

Los espacios de Higiene en los módulos espaciales son parte de todo el sistema de instalaciones y reciclaje de agua, por lo que suelen estar fijos en determinados lugares dentro del módulo, siendo la permanencia la principal característica de este programa. El tiempo de uso diario es temporal, por lo que sus artefactos normalmente se encuentran plegados en las paredes del módulo o instalados dentro de algún rack diseñado para este tipo de aparatos.



Uso de la ducha en Skylab. Fuente NASA



Astronauta del Skylab usando el sistema de inodoro. Fuente NASA

A pesar de ser una actividad cotidiana en la Tierra, para los astronautas el realizar una rutina de higiene diaria puede significar tener que lidiar con muchas cosas como por ejemplo: el derrame de partículas de los distintos productos de limpieza, el armado de los artefactos (que suelen ser bastante complejo a la hora de su uso), los olores, entre otras cosas. Estos factores entorpecen la constante higiene personal de los astronautas. Sin embargo, es importante considerar que la tripulación cuenta con filtros en todo el sistema de ventilación, permitiéndoles habitar un ambiente bastante controlado en cuanto a calidad de aire y agentes bacterianos.

Para diseñar un espacio se necesita tener en cuenta con claridad los requerimientos de los astronautas para realizar las actividades en el marco del programa de Higiene y salud. Los elementos más básicos que se deben encontrar en este programa, son los siguientes:

- Kit de afeitado
- Kit de higiene dental
- Sistema de recolector de orina y desecho fecal
- Espejo
- Ropa interior (cambio para cada mes)
- Caja de primeros auxilios
- Ducha
- Aspiradora

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las rutinas de higiene dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro “Architecture for astronauts” de Häuplik-Meusburger el 2011.

Astronauta del Skylab: “Debes tener un lugar para lavarte las manos y un lugar donde defecar y orinar, pero también debes tener un lugar separado para afeitarte y cuidar el aseo de rutina, peinar el cabello, lavarse y cepillarse los dientes (...)” (NASA [Boll.8], 1974 p.17)



*El astronauta del Skylab 2 Charles Conrad después de un baño caliente en la ducha del Skylab
Fuente: Architecture for astronauts.*

Valery Ryumin (Salyut 6):

"Cuando comienzas a pensar en todas las operaciones preparatorias que tienes que hacer, y luego cuántas operaciones posteriores a la ducha tienes que realizar, el deseo de ducharte disminuye.

Tienes que calentar el agua, en lotes, nada menos. Hay que sacar la cámara de la ducha, montar los colectores de agua, poner la aspiradora (...) se tarda casi todo el día, solo en esa ducha", se quejó. (Portree, 1995 p. 86).

Gerald Carr (Skylab 4): "Y deberíamos tener jabones y cosas (...) que tuvieran los olores a los que estamos acostumbrados aquí abajo".

(NASA [Boletín 8], 1974 p. 419)

Harrison Schmitt (Apolo 17):

"Mientras tenga una evacuación intestinal normal, no es un problema. La diarrea es un problema (...) debido a que la tensión superficial es una fuerza dominante. El fluido simplemente migra en el cuerpo, en lugar de ir a la bolsa de heces".

(Schmitt, 2009)

Gene Cernan (Apollo 17):

"Olor indeseable - No creo que haya ningún olor indeseable de alimentos (...) Fueron abrumados por los olores de orina y heces y los olores de gas en la nave espacial".

(NASA [Informe A17], 1973)

Aleksandrov Lyakhov (Salyut 7):

"Sería bueno tener (...) una ducha en Kosmos (...), una ducha especial que siempre esté montada y lista para usar". (BJBluth, 1987 págs. 1-83)

Valentin Lebedev (Salyut 7):

"Todo el mundo sabe lo que significa [la limpieza] en casa, en el hogar, la basura se acumula en el suelo y el polvo se acumula en los muebles. Aquí todo flota: polvo, pedazos de basura, migas de comida, gotas de jugo, café y té.

Todo termina suspendido en la estación, y la mayor parte se acumula en las rejillas de entrada de los ventiladores, que cubrimos con una gasa.

Así recogemos la basura en ingravidez (...)"

(Lebedev, 1990 p. 135)

La higiene personal, a pesar de ser una actividad que se desarrolla en un entorno íntimo, puede ocasionar desagradables consecuencias en todo el módulo. Otro tema al que los astronautas hacen hincapié son los artefactos sanitarios, estos suelen ser algo complicados de montar y usar, por lo que incluso deciden no ocuparlos.

La limpieza en los módulos va derechamente relacionada con la organización de los tripulantes, que cuentan con las herramientas para realizarlo. Al ser un espacio de un solo ambiente (debido a su configuración interior), la basura generada logra expandirse en todo el módulo, generando como consecuencia que esta se pueda filtrar desde el área de higiene al área de tránsito.

Una solución al diseño de estos espacios es generar un ambiente intermedio entre el área de higiene y el espacio que se circula, este tendrá la función de regular y controlar la salida y entrada de elementos no deseados relacionados con la higiene personal, ya sean residuos biológicos, olores, etc.

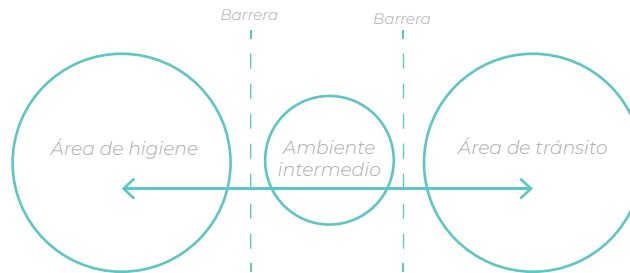


Diagrama de propuesta de circulación entre área de higiene, ambiente intermedio y área de tránsito. Elaboración propia.

2.1.3. Trabajo/ Investigación

Los espacios enfocados en el trabajo y la investigación son los principales objetivos presentes a la hora de diseñar en los hábitats en órbita, ya que las misiones espaciales están orientadas en los resultados que pueda entregar la tripulación. Es por eso que se busca diseñar espacios eficientes, que cumplan con los requerimientos de las misiones desarrolladas en el módulo.

En estos espacios de trabajo, se busca lograr un ambiente de **concentración, producción y rendimiento**, además de poder adaptarse a los distintos métodos de investigación. Es por esto que la combinación de actividades como el “comer” o “dormir” en las áreas de trabajo, tienden a generar conflicto en la tripulación por el uso del espacio. Respecto a lo anterior, la estrategia es enfocar un ambiente dedicado al trabajo o relacionarlo con otro que sea temporal y tenga relación con la actividad laboral en órbita.

La configuración del módulo DMF entrega una propuesta de distribución de los usos, que da lugar a un espacio exclusivo para el tránsito y otro para actividades de carácter más estacionario (laboratorio, área de control, mantenimiento, entre otros).

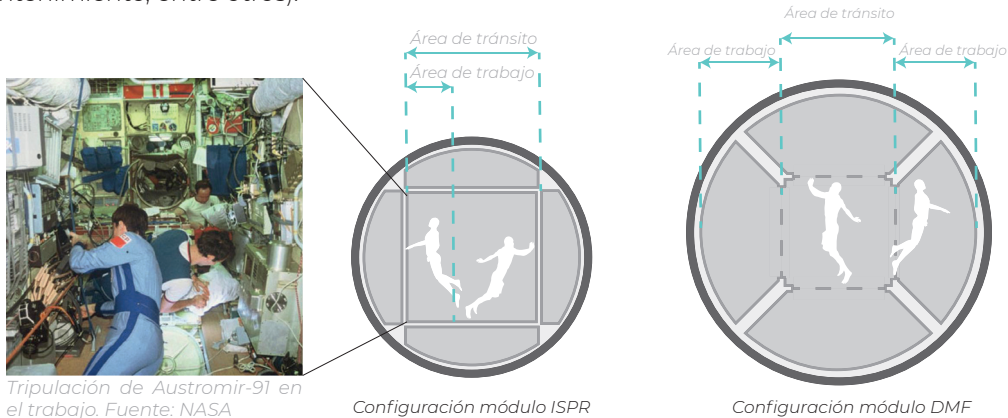


Diagrama en corte, comparación entre área de trabajo y área de tránsito, observando una superposición en los ISPR a diferencia de la configuración DMF en donde las áreas se encuentran separadas entre sí. Elaboración propia.

Los espacios más básicos que requieren los astronautas para desenvolverse correctamente en el trabajo en órbita son:

Operaciones de mantenimiento
Equipos de comunicación
Investigación

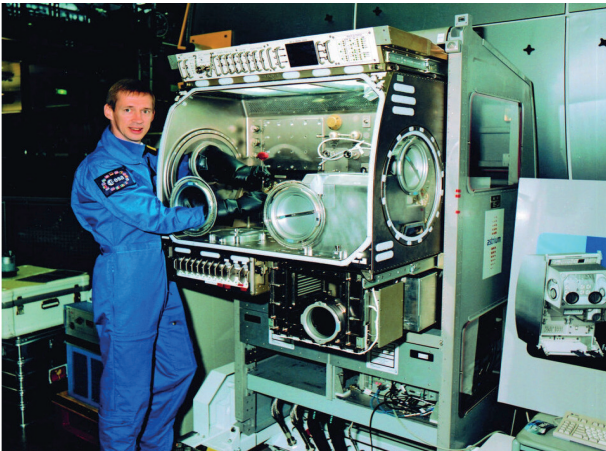
Área de realización de experimentos
Laboratorios
Entrenamiento



Experimento neurocientífico durante la misión Austronir-91.
Fuente: NASA



Los ingenieros de vuelo dentro del laboratorio Destiny de EE. UU.
Fuente: NASA.



El astronauta Frank De Winne con la caja de guantes ("Glovebox"). Fuente: NASA.

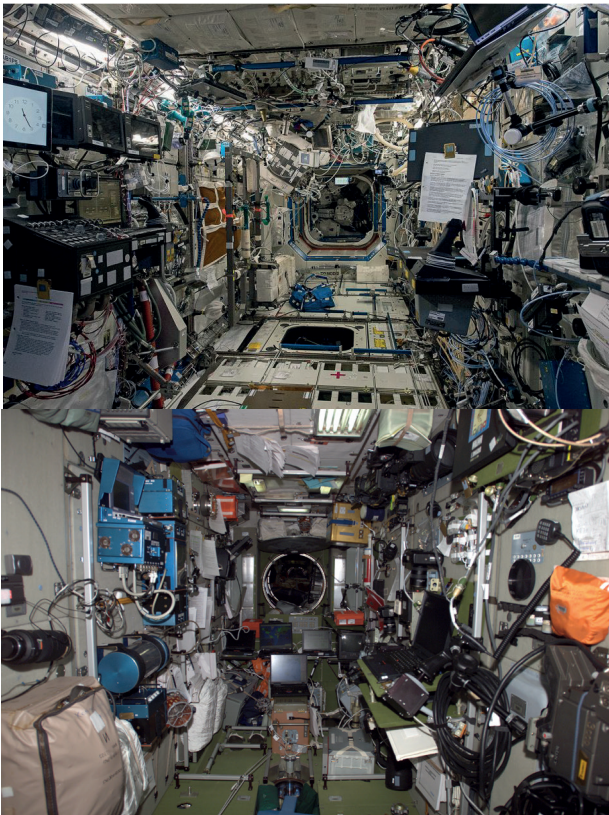


El astronauta Steve Wanson junto al dispositivo Veggie. Fuente: NASA.

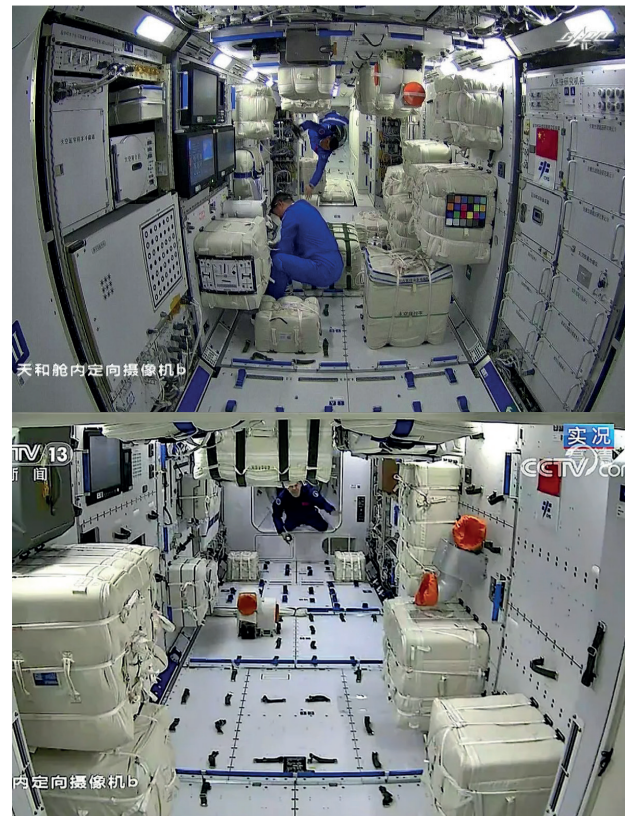
Si bien al momento de diseñar la configuración del módulo no se pueden predecir todas las dimensiones que tendrán los artefactos para las distintas instancias de experimentación e investigación, si se pueden diseñar espacios **adaptables** que abarquen la mayor cantidad de posibilidades. Es por esto que la solución de diseño debe proponer mobiliario modular, incentivando estándares y medidas universales para los artefactos.

Algo que tienen en común todos los módulos espaciales en órbita que llevan un tiempo siendo habitados, es el ruido visual dentro del área de trabajo. Esto es generado por los cables, dispositivos, computadores, entre otros elementos que son requeridos por la tripulación a la hora de realizar sus labores. La principal razón para dejar expuestos los equipos es facilitar el uso y mantenimiento.

La Estación Espacial China propone incorporar en su diseño compartimientos para el almacenaje, entregando una mejor organización, además de permitir el mantenimiento de los equipos, logrando un ambiente más ordenado visualmente.



Interior de la Estación Espacial Internacional. Fuente: NASA.



Interior de la Estación Espacial China Tiangong. Fuente: CGTN.

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las rutinas de trabajo dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro *“Architecture for astronauts”* de Häuplik-Meusburger el 2011.

“Tratamos de ocultar la mayor cantidad de cosas como sea posible detrás de los paneles. Mientras lo hacíamos, notamos muchas características poco prácticas, que eran difíciles de prever en la Tierra. Una gran cantidad de espacio vacío detrás de los paneles no se utiliza en absoluto. Nadie se dio cuenta de que necesitaríamos un lugar para almacenar varios equipos y soportes cuando termináramos de usarlos. Además de eso, las bolsas, cinturones, candados y otros elementos se han fijado de forma permanente aquí, lo que nos impide utilizar el espacio existente”.
(Lebedev, 1990 p. 111)

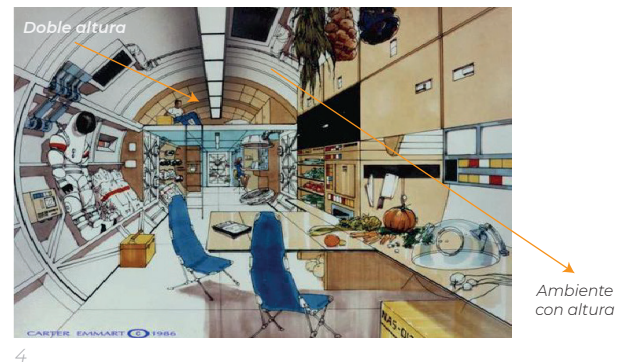
“Cuando llega una tripulación, los cosmonautas pueden reorganizar las cosas para sentirse como en casa. Este tipo de trabajo suele requerir el traslado de una gran cantidad de material y equipos. A veces esto requiere cortar metal, lo que no solo ensucia el módulo, sino que también lleva mucho tiempo y esfuerzo”.
(Lebedev, 1990 p. 137).

Hans Schlegel (ESA): “(...) Pero todavía estamos desarrollando los requisitos mínimos (...) Estamos en medio de desarrollarlo, porque, al igual que en la Tierra; un dormitorio para una familia puede ser un estudio para la siguiente, y el estudio anterior puede convertirse en el dormitorio o viceversa”. (Schlegel, 2009)

El que los espacios permitan la **adaptabilidad, la reconfiguración y la reorganización**, habla de un diseño funcional tanto para la tripulación como para las instalaciones, que son las que deben albergar el trabajo de usuarios con distintos requerimientos. Se recomienda proyectar en el diseño instalaciones **desmontables y modulares**, facilitando el retiro y llegada de equipamiento junto con materiales de otras tripulaciones.

Referencias

Las siguientes imágenes muestran referencias de como pueden ser diseñados los espacios que van a albergar las actividades en el marco del trabajo y la investigación.



Fuente de las imágenes:

1: Área de investigación botánica, Hassell+EOC; 2: Laboratorio de investigación, Hassell+EOC; 3: Área de investigación botánica, EDEN ISS; 4: Representación hábitat en órbita, Marshome.

2.1.4. Deporte

La actividad física es algo infaltable en la rutina de los astronautas, la duración es de promedio 3 horas diarias, siendo de carácter obligatorio para toda la tripulación. La intensidad de esta actividad es debido a la importancia que tiene el deporte sobre la salud física y psicológica de los astronautas, ayudando a mitigar los efectos secundarios (disminución de la masa muscular, problemas cardíacos, trastornos del sueño, etc.) causados por misiones espaciales de larga estadía.

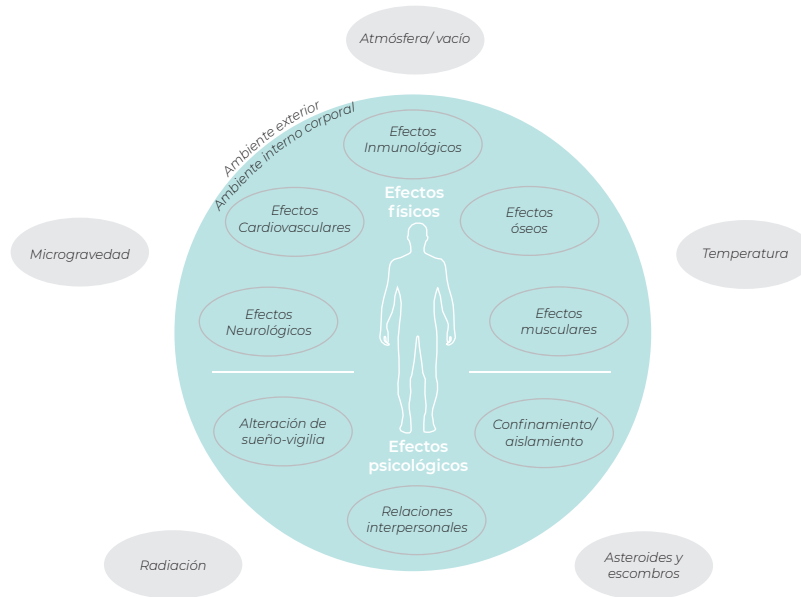
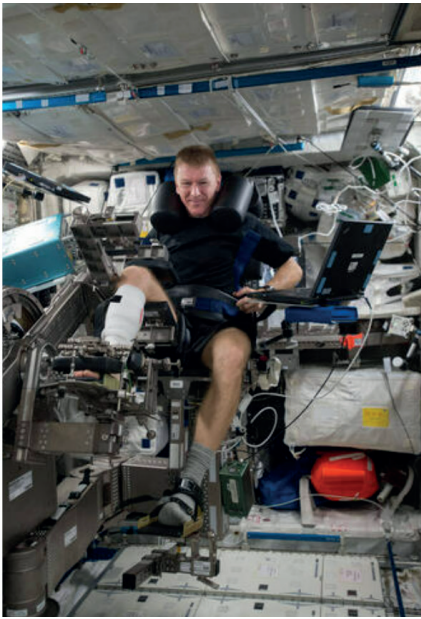


Diagrama de efectos físicos y psicológicos en los astronautas bajo las condiciones ambientales en órbita. Elaboración propia.

Además de ser un apoyo ante las condiciones ambientales, la actividad física es una contramedida importante para el gran volumen de trabajo que se lleva a cabo en una misión espacial, el cuerpo responde de manera más eficaz a la situación de estrés cuando este se mantiene físicamente activo.

En respuesta a los requerimientos de este programa, se instalan implementos deportivos que se montan cuando el usuario requiera utilizarlo y se vuelve a plegar una vez finalizado, haciendo que el uso de este espacio para las actividades físicas sea temporal. Alguno de los implementos más usados en estos espacios son:

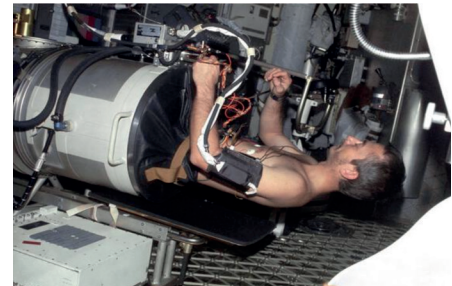
- Bicicleta
- Caminadora
- Área para realizar estiramientos
- Bandas elásticas
- Pelotas de gimnasia
- Trajes presurizados



1



2



3



4



5

Fuente de las imágenes:

1: Astronauta haciendo ejercicio resistivo, NASA; 2: Astronauta practicando maniobras de yoga, NASA; 3: Astronauta dentro de Dispositivo experimental de presión negativa (LBNP), NASA; 4: Astronauta haciendo ejercicio resistivo, NASA; 5: Astronauta en caminadora desplegable, NASA.

Precisar que estos implementos deben ser ergonómicos, fáciles de armar y desmontar, con un volumen de ocupación no invasivo y equipado con aisladores de vibraciones para evitar perturbaciones en los experimentos científicos.

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las rutinas de actividad física dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro "Architecture for astronauts" de Häuplik-Meusburger el 2011.

*"De hecho, incluso hemos inventado algunos ejercicios nuevos por nuestra cuenta".
(Lebedev, 1990 p. 188).*

*"A veces es muy difícil obligarse a uno mismo a hacerlo. Lo que más nos gusta es la cinta de correr, porque podemos hacer una gran variedad de ejercicios en ella".
(Lebedev, 1990 p. 168)*

*Valery Ryumin (Salyut 6):
misión de 175 y 185 días: "Odio nuestros ejercicios. Me encantó en la Tierra. Pero aquí tengo que esforzarme (...) te das cuenta de que lo necesitas para mantenerte en forma, así que sonríes y lo soportas".
(BJBluth, 1987 p. III-34)*

Al diseñar los espacios contemplados para la actividad deportiva (además de tener en cuenta el volumen de los implementos), se debe proyectar en un área apartada de actividades que requieran un ambiente de concentración y tranquilidad. Debido a que no son compatibles las áreas de concentración con el ruido que puede emitir el uso de implementos deportivos.

Se puede lograr una mejor experiencia al momento de realizar actividad deportiva, si se aplican elementos que estimulen los sentidos (los astronautas ya aplican esta técnica al escuchar música mientras se ejercitan). La **realidad virtual** puede aportar en ampliar el espacio de forma artificial, simulando ambientes ligados a la naturaleza y así convertir una actividad obligatoria en una medida para sobrellevar el claustro de manera más agradable.

Referencias

Las siguientes imágenes muestran referencias de como pueden ser diseñados los espacios que van a albergar las actividades nombradas anteriormente.



1



2



3



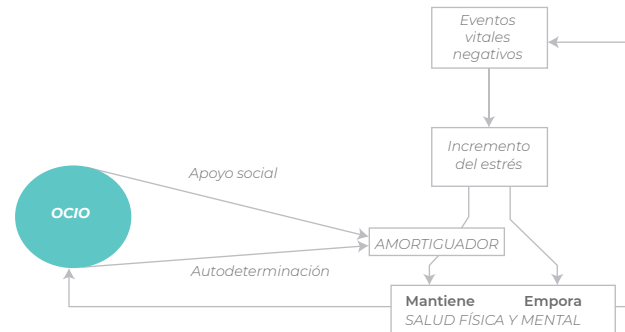
4

Fuente de las imágenes:

1: Gimnasio con plataforma de realidad virtual, Hassell+EOC; 2: Proyecto gimnasio de lujo., gymflooring.com; 3: ICAROS, artefacto deportivo con realidad virtual que simula la experiencia de volar; 4: ICAROS, se observa el uso del implemento junto al lente de realidad virtual.

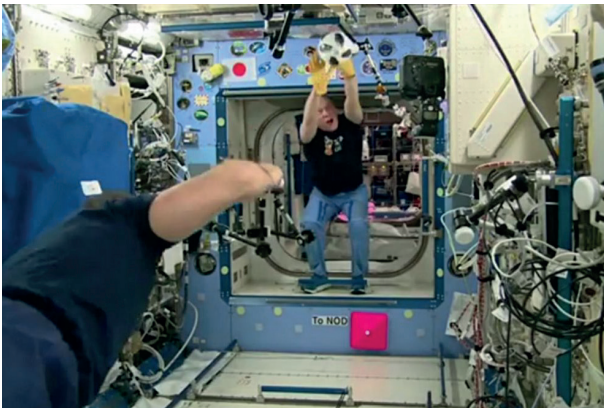
2.1.5. Ocio

El tiempo libre tiene un efecto estimulante sobre la salud física y mental del astronauta, contribuyendo a la eficiencia laboral de la tripulación. Las actividades de ocio en órbita se programan según el número de usuarios, tiempo de duración de la misión y los intereses personales de cada astronauta. Siendo factores que se relacionan directamente al cómo se diseñará estos espacios.

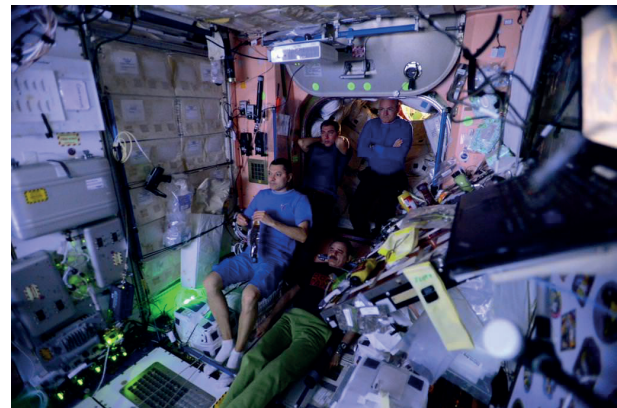


El ocio como fuente de bienestar físico-mental. Elaboración propia.

A pesar de tener claridad sobre los beneficios de este programa, no existen espacios dedicados a las actividades libres (tal como existen dormitorios para dormir o comedores para la alimentación). Por lo anterior, los astronautas improvisan áreas para el juego y esparcimiento, adaptándose al espacio que tienen disponible y que muchas veces interrumpe a otros tripulantes y sus actividades.



Astronautas de la EEI juegan al fútbol. Fuente: ROCOSMOS



Los astronautas de la Estación Espacial, durante la proyección de 'The Martian'. Fuente: Kjell Lindgren.

El “ocio” abarca desde actividades más activas como deportes colectivos (en donde se realiza actividad física, se cuenta con espacio amplio y comunicación directa con otros miembros de la tripulación) hasta actividades más pasivas como lo es leer un libro (acción de carácter individual, relajante y que requiere de un espacio reducido). Por lo tanto, a pesar de tener el mismo objetivo, se desarrollan a través de acciones totalmente distintas y necesitarán separarse espacialmente.

OCIO EN ESTADO PASIVO

- Fotografía
- Lectura
- Juegos individuales
- Cine
- Dibujo

OCIO EN ESTADO ACTIVO

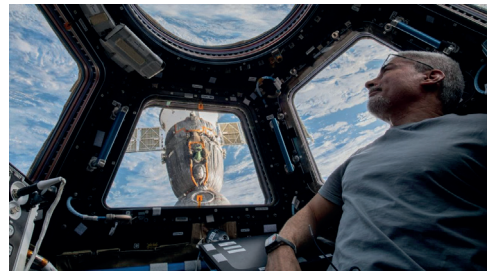
- Juegos colectivos
- Charlar
- Música
- Grabar
- Videojuegos



1



2



3



4

Fuente de las imágenes:

1: Astronauta J. Williams usa una cámara fija en la ventana del módulo Zvezda, NASA; 2: Astronauta Thomas Reiter proporcionando algo de entretenimiento al grupo, ESA; 3: Astronauta de la NASA Mark Vande Hei en la ISS, NASA; 4: Astronautas celebrando festividades en ISS, NASA.

Existen actividades que permiten instancias para reforzar los lazos de la tripulación, el “hablar después del trabajo” es una actividad recreativa social muy común, que se acompaña por una acción pasiva, como por ejemplo cenar o ver una película en conjunto. Es por esto que se deben considerar **espacios enfocados a generar instancias de conversación para la tripulación.**

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a las actividades de ocio dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro “Architecture for astronauts” de Häuplik-Meusburger el 2011.

*Edward G. Gibson (Skylab 4):
“Oh, sí. Mirando por la ventana,
sí. Sí, todos lo hicimos”. (Gibson,
2000 p. 70).*

Greg Chamitoff (NASA): “(...) Mientras tanto, tenemos algunos nuevos espacios abiertos grandes, lo que significa que de repente hay una oportunidad de hacer algunas “acrobacias avanzadas”. (Chamitoff, 2008)

Dumitru-Dorin Prunariu (Salyut 6): “teníamos una aspiradora con respaldo aire de escape, vendido en las tiendas de Europa del Este bajo el nombre de 'Rocket', que parecía un cohete (...), alimentado por un largo cable de la red eléctrica de la estación red, y a veces (...) simplemente tomabas la aspiradora entre las piernas, la encendías y luego volabas como un cohete dentro de la estación”. (Prunariu, 2011)

Las ventanas al exterior instaladas en los módulos espaciales no solo ofrecen un punto de interés estético, sino también generan un impacto psicológico positivo al entregar orientación dentro de un hábitat hermético hacia el exterior, tomando a la Tierra como punto de referencia. Por otro lado, la acción de crear una abertura en el módulo provoca una disminución en la protección estructural que afectaría directamente a los astronautas. Por lo que pareciera ser un elemento más perjudicial que beneficioso.

Referencias

Por lo anterior, es que el diseño debe aportar al desarrollo de tecnologías que ayuden a ampliar de manera artificial el hábitat en órbita, esto puede ser a través de pantallas LCD, realidad virtual aumentada u otros.



Simulación de una ventana con nubes y árboles en movimiento a través de una pantalla LCD de alta resolución, además incluye un procesador gráfico y software para la sincronización de las imágenes, para horas y horas de simulación, todo ello desde el amanecer a la puesta de sol. Fuente: Sky Factory.



Interfases de realidad virtual que crea una sensación de inmersión en ambientes artificiales. Fuente: OMNI.



2.1.6. Alimentación

Los sistemas de alimentación actualmente consisten en el almacenaje de comida preparada previamente en la Tierra, por lo que el diseño de estos espacios se basa en la construcción de dispensadores y enseres capaces de conservar la comida por el mayor tiempo posible.

En cuanto al diseño de la comida, esta ha ido perfeccionándose a medida que se va acumulando experiencia en misiones de corto y largo plazo. Los alimentos van siendo envasados en envoltorios especiales que han ido adquiriendo características más eficientes, de los cuales las principales son las siguientes:



- *Peso y volumen reducido
- *Amplia variedad de alimentos (evitando la monotonía)
- *Uso de poco tiempo de preparación
- *Sanidad (prevenir el crecimiento de microorganismos)
- *Alto contenido en nutrientes
- *Alta compatibilidad intestinal
- *Uso de alimentos con capacidades de conservarse
- *Adaptabilidad de la forma y tamaño al momento de almacenarse

Alimento preparado en bolsa especial. Fuente: NASA.



Almacenaje de alimentación. Fuente: NASA.



Prototipo de comedor y organizador de alimentos para astronautas. Fuente: NASA.

Sin embargo, lo explicado anteriormente no es el sistema de alimentación que se mantendrá a futuro. Para las misiones proyectadas de larga duración no se puede depender de alimentos con previa preparación, estos tendrán que ser **cultivados** por los astronautas. Ya se trabaja en áreas dedicadas a la actividad de plantación de alimentos, los que han dado resultados interesantes y demostrando además que son viables a largo plazo. Por lo anterior, se debe considerar que el área de alimentación debe estar complementada con espacios que puedan albergar un **sistema de cultivo**.



Plantas de pimientos que crecieron durante 137 días a bordo de la Estación Espacial Internacional. Fuente: NASA



Astronautas posando con primeros cultivos en Estación Espacial Internacional. Fuente: NASA

Si bien la comida diseñada para los astronautas siempre está enfocada en generar la menor cantidad de residuos posibles, un **área de desechos** también debe ser considerado al momento de diseñar, ya que puede ser un problema el que se termine por instalar en espacios improvisados.

Entonces los espacios más básicos a considerar serían los siguientes:

Almacenar
Preparar
Cultivar
Consumir
Recolectar desechos

La acción de alimentarse puede llevar una doble finalidad, además de nutrir a la tripulación, puede **generar instancias que refuercen los lazos** y mejore la convivencia al realizar esta acción en grupo. Por lo que el lugar en donde comen los astronautas debe usar a favor esta ventaja. Los diseños de comedores instalados en las estaciones espaciales, tienen las características de ser plegables y ergonómicos, dimensionados para el número de tripulaciones y diseñados de acuerdo a las condiciones ambientales.



Astronautas usando una mesa de comedor grupal. Fuente: NASA.



Astronautas usando una mesa de comedor grupal. Fuente: ESA.

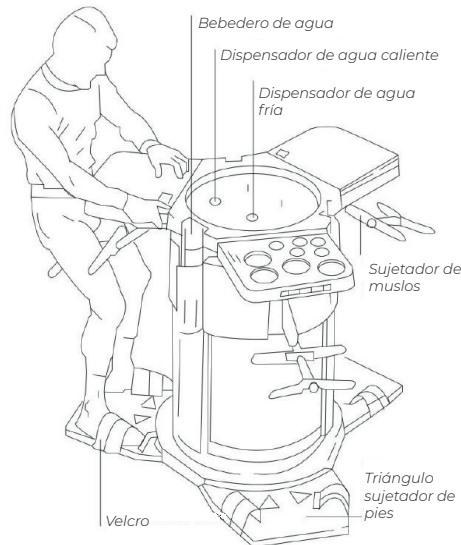


Diagrama sistema de comedor grupal. Fuente: NASA.

Experiencia del usuario

A continuación se relatan las vivencias de algunos astronautas en cuanto a la actividad de alimentación dentro de las distintas misiones espaciales. Estos párrafos fueron recopilados en el Libro “Architecture for astronauts” de Häuplik-Meusburger el 2011.

Valentin Lebedev (Salyut 7): “Así que vivimos una vida maravillosa aquí arriba, podemos diseñar cualquier menú que queramos. Todo lo que tenemos que hacer es flotar hasta un panel, abrirlo y elegir lo que queramos.

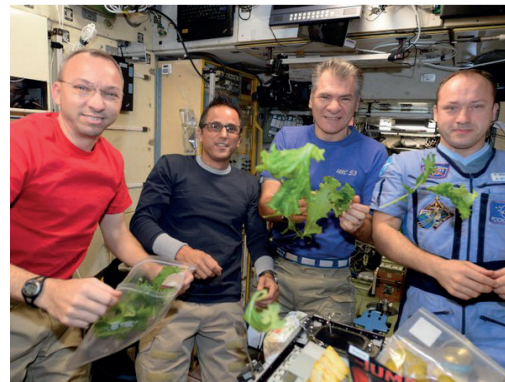
Comemos cuando queremos, o simplemente nos metemos algunas golosinas en los bolsillos y las masticamos mientras trabajamos”.

31 de agosto de 1982 (Lebedev, 1990)

“Lo que necesitas en el diseño del futuro es una mesa que sea adaptable a una de trabajo, con buena iluminación”. (NASA [Boletín 12], 1975 págs. 38, 39)

Gerhard Thiele (ESA): “Al mediodía uno come mientras trabaja. El descanso designado de una hora, destinado a que uno pudiera comer en paz, en realidad no existía en nuestro vuelo”. (Thiele, 2010)

Valery Ryumin (Salyut 6): “(...) las verduras cultivadas por los cosmonautas (...) no son solo objeto de (...) estudio, si no también –y lo recalco– un factor psicológico importante que ejerce un efecto positivo sobre (...) las emociones.” (BJBluth, 1987 p. 1-43)



Astronautas junto con sus primeros cultivos de lechuga. Fuente: ESA.

2.2. Afinidad entre programas

De acuerdo a la información expuesta, sobre las características que tiene cada programa dentro del contexto de las misiones espaciales a corto y largo plazo, existe cierta afinidad entre las actividades que realiza la tripulación cuando se observa el comportamiento de los astronautas que han convivido en órbita. Saber esto ayudaría a determinar que programas arquitectónicos pueden subsistir con otro, así **ahorrar en espacio y recursos**, además de desarrollar un **diseño más eficiente con el uso del espacio**.

El análisis de estas actividades lleva a elaborar una matriz con parámetros que consideren el tipo de afinidad que tiene cada programa arquitectónico, con el fin de guiar el diseño de los usos del espacio. A continuación se muestra el diagrama descrito.

<i>Programa arquitectónico</i>	<i>Grado de Publicidad</i>	<i>Grado de permanencia del usuario en su uso</i>	<i>Características de la atmósfera</i>	<i>Volumen de espacio ocupado</i>
Dormir/ Descanso/ Relajo	Bajo , actividad de carácter íntimo.	Temporal , uso esporádico de este espacio	Tranquilidad, descanso, introspección.	<i>Cabina fija al espacio de dormir + espacios de descanso modulares</i>
Higiene, limpieza y salud	Bajo , actividad de carácter íntimo.	Temporal , uso esporádico de artefactos	Bienestar y sanidad	<i>Espacio fijo para instalación de artefactos</i>
Trabajo/ Investigación	Media-Alta , requiere tanto de trabajo individual como de trabajo en equipo.	Permanente , trabaja en constante uso	Concentración, producción y rendimiento.	<i>Instalaciones fijas y modulares</i>
Deporte	Media- Alta , se pueden realizar actividades deportivas individuales y colectivas.	Temporal , uso de elementos desplegables	Comunitaria y lúdica.	<i>Instalaciones de implementos deportivos desplegables</i>
Ocio	Media- Alta , se pueden realizar actividades de tiempo libre individuales y colectivas.	Temporal , uso de elementos desplegables	Comunitaria y lúdica.	<i>Instalaciones fijas y modulares</i>
Alimentación	Alta , esta se realiza en comunidad.	Temporal , uso de elementos desplegables	Comunitario y experimentación.	<i>Espacios de almacenamiento y comedor desplegable</i>

2.3. Parámetros generales de la misión

Antes de diseñar un módulo espacial se debe considerar el objetivo que tendrá (estos definen las características de la misión) y construir un “esqueleto” de partido general. No es lo mismo ir a la órbita Lunar en una misión de 30 días de duración, que un viaje a Marte de 1 año, los requerimientos pueden ser similares en su esencia, pero siguen presentando cierta diferencia. Entonces el diseño y distribución interior debe responder a estos parámetros.

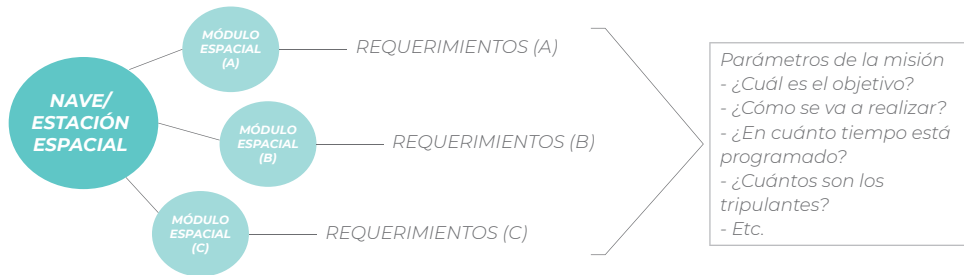


Diagrama de factores que determinan los requerimientos. Elaboración propia.

Por lo anterior, se propone los siguientes parámetros para estudiar en profundidad, así obtener mayor conocimiento de los requerimientos al momento de organizar espacialmente los módulos.

2.3.1. Horario

2.3.2. Número de tripulación y duración de la misión

2.3.3. Objetivos de la misión

2.3.4. Ergonomía: dimensión mínima de los espacios

2.3.1. Horario

Asignar un horario para las actividades que realizan los astronautas funciona como guía para entender como distribuyen sus labores. Si bien no se puede imponer un horario a la tripulación, se puede rescatar información para observar cómo usan el espacio. Identificar esta información, tanto en el ámbito individual como colectivo, es importante para tomar decisiones, en el diseño del espacio enfocado en las horas de uso o en la temporalidad de los programas. A continuación se adjunta una tabla con la rutina de los grupos de tripulantes en vuelos orbitales, realizado a través de la observación de distintos videos publicados por NASA.

<i>Hora</i>	<i>Rutina diaria de la tripulación</i>	<i>Rutina individual/ grupal</i>	<i>Número de tripulación necesaria</i>
00:00	Dormir	Individual (solo en módulo de descanso asignado)	1
01:00			
02:00			
03:00			
04:00			
05:00			
06:00			
07:00	Higiene personal	Individual	1
08:00	Desayuno	Grupal	3 - 4 (más según el n° de tripulación)
09:00	Trabajo (referente a la misión/ mantenimiento de carga útil)	Individual o grupal (solo en módulo de trabajo y laboratorio asignado)	1-3 (según requerimientos de la misión)
10:00			
11:00	Deporte		
12:00	Planificación y entrenamiento	Individual o grupal	1 - 4
13:00	Almuerzo	Grupal	3 - 4 (más según el n° de tripulación)
14:00	Trabajo (referente a la misión/ mantenimiento de carga útil)	Individual o grupal (solo en módulo de trabajo y laboratorio asignado)	1-3 (según requerimientos de la misión)
15:00			
16:00	Deporte		
17:00			
18:00	Planificación y entrenamiento	Individual o grupal	1 - 4
19:00	Cambio de turno	Grupal	6 - 8 (el total de la tripulación)
20:00			
21:00	Cena	Grupal	3 - 4 (más según el n° de tripulación)
22:00	Tiempo libre	Individual	1
23:00	Higiene personal	Individual	1
	Dormir	Individual	1

Rutina diaria de la tripulación (individual o grupal). Elaboración propia.

2.3.2. Número de tripulación y duración de la misión

Una variable importante en el diseño de la configuración espacial de cualquier lugar, es el número de usuarios considerados para el uso y el tiempo de estancia que tendrán. Esto puede ayudar a definir un correcto volumen de ocupación, además de realizar un diseño adaptable si sabemos que la tripulación va a variar entre un número determinado de habitantes (considerar espacio para un número adicional de cabinas más para el descanso), almacenamiento necesario para pertenencias de la tripulación,

Las misiones espaciales anteriores nos pueden dar una guía de cuál es la experiencia que se maneja en lograr hábitats humanos en espacios herméticos.

Hábitats en órbita	Número de tripulantes por misión (fijos)	Tiempo de la misiones
Vostok	1	3d
Mercury	1	15 min - 34 hrs
Voskhod	2	1d
Gemini	2	4h - 4d
Soyuz	2	1d - 3d
Apollo	3	5d - 2d
Salyut	3 + tripulación de visita	1d - 237d
Skylab	3	28d - 84d
Shuttle	3	2d - hoy
Mir	3 + tripulación de visita	1d - 438d
ISS	3 + tripulación de visita	1d - hoy
Shenzhou	3	1d - 4d

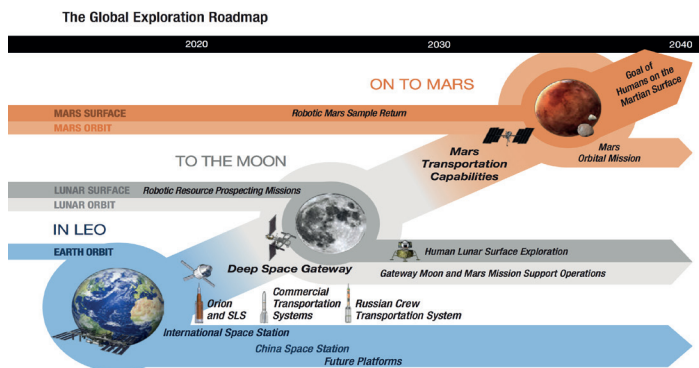
Tabla de información número de tripulación por misión y tiempo de estancia. Fuente: Architecture for astronauts

2.3.3. Objetivos de la misión

Conocer cuál es el objetivo de la misión, es el principal eje de diseño, permite saber cómo se va a comportar la tripulación y qué van a requerir. Básicamente, este parámetro responde a la pregunta **¿Qué se va a realizar?**. Estos afectan directamente a las características que tendrá el programa arquitectónico de Trabajo e Investigación.

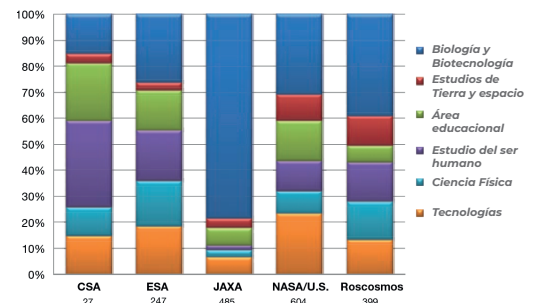
Una fuente de información puede ser la entregada por El Grupo de Coordinación de Exploración Espacial Internacional (ISECG). Se puede observar que el plan empieza por crear asentamientos en la superficie de la Luna, iniciando el posicionamiento de robots y tecnologías de transporte, con el fin probar equipos que han sido desarrollados para ayudar a instalar, de manera segura, una colonia en la Luna. Las misiones humanas empiezan con Artemisa III y el regreso del ser humano a la superficie con un grupo de 2 personas por una misión de 6,5 días de duración.

Otra fuente de información puede ser las áreas de investigación que se han ido desarrollando a lo largo de la experiencia en misiones espaciales, que van desde biotecnología hasta estudios del comportamiento humano en hábitat orbitales.



Los objetivos de la exploración tripulada del espacio en los próximos años.
Fuente: ISECG.

Áreas de investigación desarrolladas en la EEI asociados a las distintas agencias espaciales
Expediciones 0-40/ Diciembre 1998 - Septiembre 2014

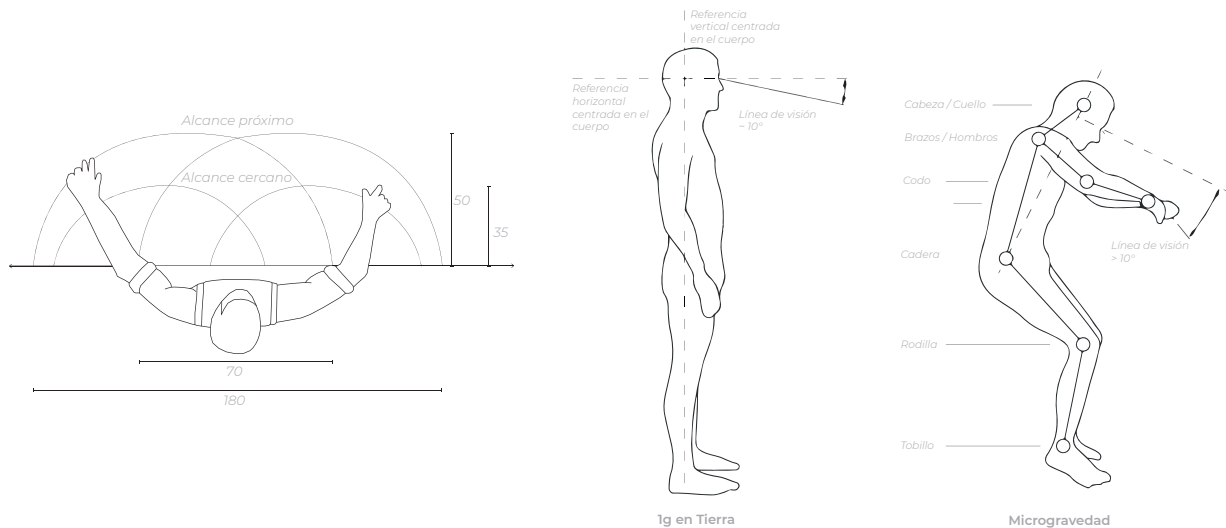


Áreas de investigación desarrolladas en EEI. Fuente: Reference guide to the International Space Station

2.3.4. Ergonomía: dimensiones mínima de los espacios

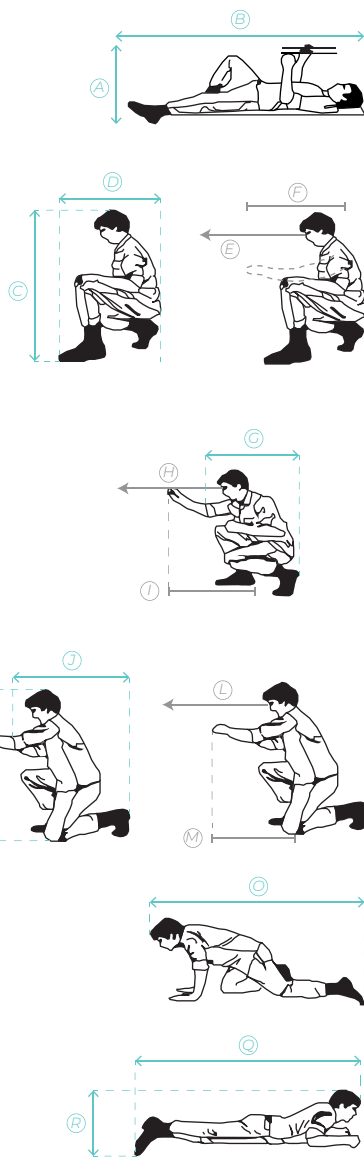
Dentro de la disposición del hábitat, la dimensión y las posturas del ser humano son consideraciones importantes al momento de diseñar cualquier espacio. En plena gravedad nos mantenemos erguidos, sentados o tumbados, de acuerdo a la actividad que se esté realizando. Mientras que en los ambientes orbitales, se puede observar algo no muy distinto, los seres humanos en microgravedad adoptan una postura corporal neutra estándar, que representan el estado de equilibrio de menor energía de los músculos evolucionados y acostumbrados habitualmente a permanecer erguidos en el entorno terrestre.

Se debe tener en cuenta las actividades que se van a llevar a cabo y qué posiciones debe realizar el astronauta, para tener en cuenta esta medida al momento de diseñar los espacios. A continuación se muestra, por medio de diagramas, las distintas posturas a realizar según observaciones de material visual publicado por las distintas agencias espaciales.



Los objetivos de la exploración tripulada del espacio en los próximos años. Fuente: ISECC.

Diagrama de postura corporal neutra en gravedad y microgravedad. Fuente: Architecture for astronauts.



	Tendido de espalda	Dimensión mínima	Dimensión preferente
A	Altura	51 cm	61 cm
B	Longitud	185 cm	195 cm
Trabajo en cuclillas			
C	Altura	120 cm	130 cm
D	Longitud	70 cm	90 cm
E	Alcance de visualización óptima	90 cm	110 cm
F	Alcance de control óptimo	80 cm	100 cm
Trabajo encorvado			
G	Ancho	90 cm	110 cm
H	Alcance de visualización óptima	80 cm	100 cm
I	Alcance de control óptimo	60 cm	80 cm
Trabajo de rodillas			
J	Ancho	100 cm	120 cm
K	Altura	140 cm	160 cm
L	Alcance de visualización óptima	80 cm	100 cm
M	Alcance de control óptimo	60 cm	80 cm
Trabajo gateando de rodillas			
O	Ancho	80 cm	90 cm
P	Altura	150 cm	
Trabajo en posición arrastrada			
Q	Ancho	55 cm	65 cm
R	Altura	280 cm	

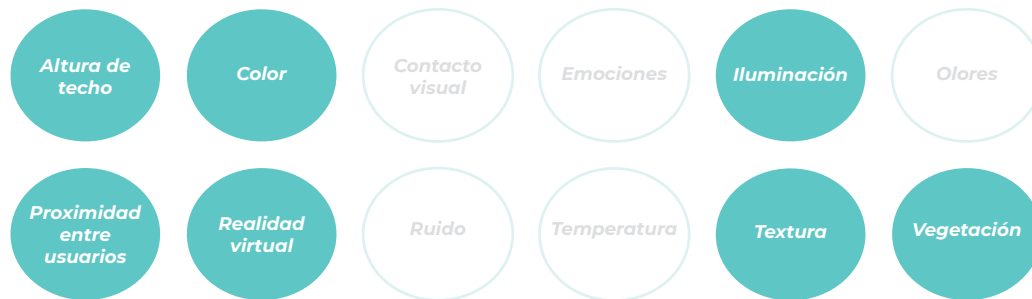
Medidas ergonómicas de posiciones no erguidas. Elaboración propia.

3. Neuroarquitectura incorporada a las decisiones de diseño

Un hecho que marca oficialmente el comienzo de la neuroarquitectura bajo ese término es la fundación en 2003 de la academia de la Neurociencia para la Arquitectura (ANFA), con el objetivo de marcar algunos de los aspectos más esenciales a la hora de investigar como diseñar, calidad de vida, aumentar la productividad, el rendimiento y reducir el estrés producido por la vida en la ciudad.

Esta rama de la arquitectura impulsa a comprender cuál es el funcionamiento del cerebro con relación al medio ambiente, dado que los lugares pueden llegar a influenciar la salud física y mental. Sin embargo, decisiones puntuales como el color de un espacio no necesariamente puede afectar por completo el estado de ánimo, más bien se refiere a **cambios sustanciales del ambiente**, que va desde el tamaño del espacio, ambientación, la atmósfera, la iluminación, hasta el mobiliario, todo esto tendrá una influencia inconsciente.

Según ANFA (*Academy of Neuroscience for Architecture*), los aspectos y herramientas usados para reflejar un diseño con base en la Neuroarquitectura, y que serán utilizadas en esta Guía, contempla los siguientes parámetros:



Al tratarse de un diseño a nivel teórico, solo se tomarán en cuenta aquellos parámetros que se puedan diseñar de forma tangible. A continuación se definirá cada uno de estos aspectos, buscando parámetros o información que pueda ayudar a elaborar un diseño de acuerdo a los requerimientos de los usos de cada espacio.

3.1. Iluminación

El tema de la luz ha sido un elemento muy tratado en la Arquitectura, tanto la forma en la que se invade el espacio habitable como en la intensidad en que se presenta. Es un aspecto muy importante, ya que la luz marca los **ritmos circadianos**, estos son, según el NIGMS (*National Institute of General Medical Sciences*) “los cambios físicos, mentales y conductuales que siguen un ciclo diario, respondiendo principalmente a la luz y oscuridad en un ambiente”.

Temperatura del color

Cuando se habla de temperatura del color se refiere al color de la luz que es emitida de una fuente (lámpara, bombilla o cualquier elemento capaz de generar luz artificial), el cual se mide en kelvin (K) y se define comparando su color dentro del espectro luminoso. Cabe destacar que la medida en kelvin es de la temperatura representada por un color. Para efectos comerciales, las empresas manejan tres temperaturas de color (Luz cálida, neutra y fría) que van desde los 2700 K hasta los 6500 K.

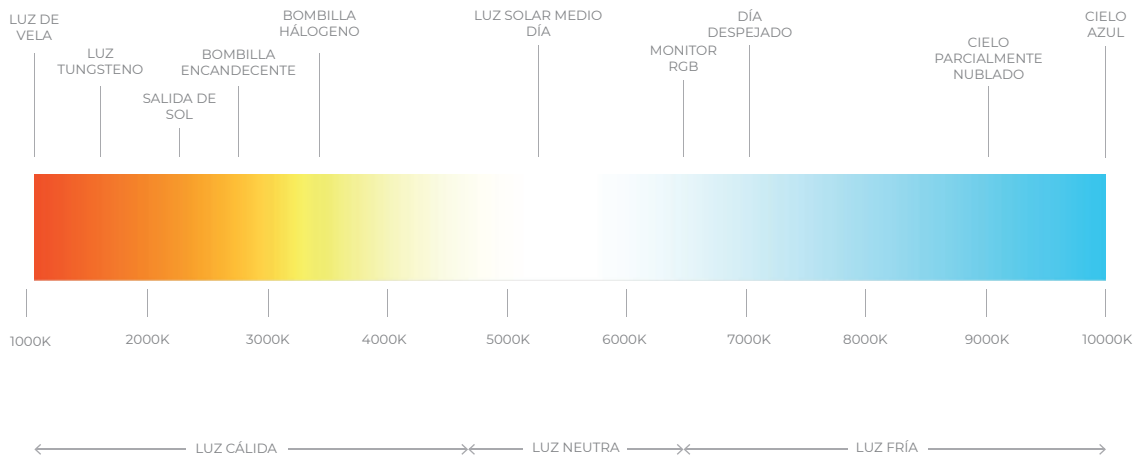


Diagrama de las distintas “intensidades” de la luz artificial, definiendo los tipos de luz que representan y donde se manifiestan comúnmente. Elaboración propia.

Cuando no se cuenta con un aporte adecuado de luz, se pueden producir problemas en el sueño, fatiga, falta de concentración, etc. La luz natural favorece la concentración y crea un ambiente más amable que la luz artificial. Así mismo, la luz natural crea un vínculo directo entre el espacio exterior e interior, evitando así generar una sensación de espacio cerrado. Debido a que en estos espacios en órbita no se puede contar con luz natural, se buscará, a través del diseño, **crear una simulación de las sensaciones que brinda la luz natural.**

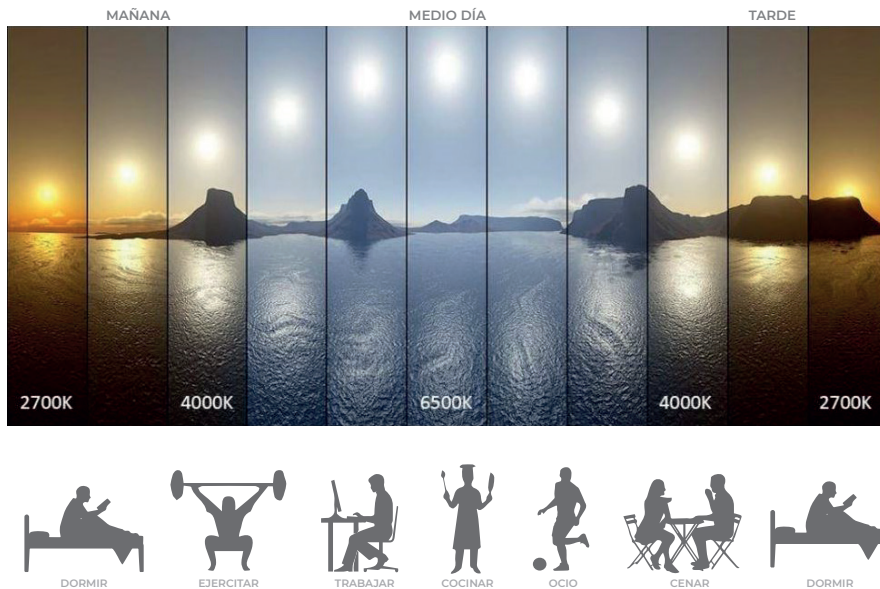


Diagrama de las distintas "intencidades" de la luz artificial. Elaboración propia.

Por lo antes expuesto y en términos generales se recomienda considerar lo siguiente en cada caso:

Descanso y relajación: Luz cálida – Luz blanca cálida – Luz amarilla.
Ejercicio, trabajo y estudio: Luz Neutra – Luz blanca fría.
Activación y alerta: Luz Fría – Luz de día – Luz blanca.

Dirección e intensidad de la luz

La luz tiene la capacidad de marcar o resaltar texturas, colores y formas en un espacio. Es por esto que se procede a explorar las distintas variables presentes en el uso de este elemento.



Tipos de luz artificial aplicados a espacios interiores. Elaboración propia.

Iluminación directa: Esta se enfoca en iluminar una zona en específico, permitiendo que no se pierda la intensidad con la absorción de las paredes. Aplicable para actividades que necesiten de una luz constante y directa, como los comedores, oficinas, mesas de reunión, etc.

Iluminación indirecta: La luz se refleja en otra superficie de manera que se distribuye en el espacio logrando que pierda intensidad lumínica. Usado en espacios en donde se busque generar una atmósfera más íntima.

Iluminación semi- directa: Esta luz busca generar un juego con un elemento que acompaña la iluminaria, ya sea forma, color y textura, resaltando este objeto dentro del espacio en donde se encuentra.

Iluminación semi- indirecta: La luz busca dar intensidad en el contorno de algún objeto enmarcándolo, de manera que la luz simule “salir desde dentro”. Este método se emplea para la señalización en espacios transitables, ya que no implica una luz directa hacia el usuario, pero sí al espacio en donde se instala.

Iluminación difusa: En este caso la luz es muy tenue en el espacio, viene desde todas las direcciones gracias a la reflexión en muros y paredes, generando un ambiente de suavidad, ideal para el diseño de lugares en donde se busca una atmósfera de descanso.

Es importante saber que la iluminación de los espacios tienen ciertas normas, en donde se exigen cierto mínimo de intensidad lumínica (lúmenes) de acuerdo a la actividad que se desarrollará en determinado espacio. Esto con el fin de que la actividad pueda llevarse a cabo correctamente.

Área	Nivel de iluminancia (LX)
Trabajo/ estudio	500 luxes
Sala común y comedor	300 luxes
Cocina	200 luxes
Habitación	150 luxes
Pasillo	100 luxes
Baño	100 luxes

*Niveles de iluminación recomendados (lux).
Fuente: UPME, Unidad de Planeación Minero-energética Elaboración propia.*

3.2. Vegetación

La presencia de vegetación en el espacio ha sido estudiada en profundidad, dando como resultados el **diseño biofílico**, confirmando que introducir la naturaleza en el hábitat mejora nuestra salud, la productividad aumenta y la creatividad. Esto es un aspecto muy útil para espacios donde sea necesaria una alta productividad y los usuarios se sometan a altos niveles de estrés.

Los avances de generar vegetación en los espacios herméticos, como lo son los módulos espaciales, ha tenido avances sustanciales, obteniendo los cultivos en espacios controlados y limitados. Sin embargo, el objetivo de estos es más de experimentación e investigación que estéticos. **Es por esto que como solución se propone insertar elementos que simulen la vegetación natural.**

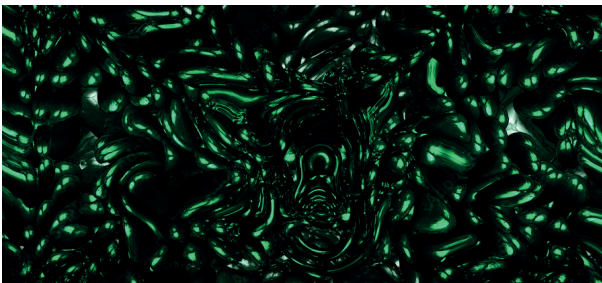
Esta estrategia es aplicable de preferencia en todos los espacios habitables, independiente de la actividad que se proyecte desempeñar.



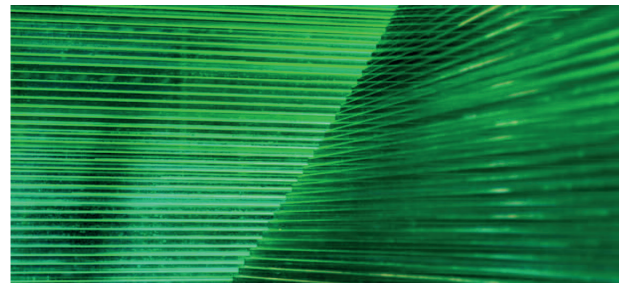
Espacio de trabajo inserto en vegetación. Fuente: KEVIN MAK / STUDIO1KM.



Pared verde y musgo en espacio transitable. Fuente: greenscapedecor.com.



Textura metálico brillante que simula la vegetación. Fuente: Adobe.



Textura verde brillante que simula la vegetación. Fuente: Adobe.

3.3. Color

El estudio del color es un amplio tema de estudio que se ha tratado constantemente en la Arquitectura. El color influye en áreas neuronales de nuestro cerebro, condicionando el estado de ánimo, es por esto que es fundamental estudiar el efecto de las distintas tonalidades en el cerebro para poder emplearlos de la manera más eficiente posible.

Los colores son capaces de modificar la percepción visual de los espacios, incluso ampliar o empequeñecer, refrescar lo angosto y dar variedad a lo repetitivo. No existe una regla general para diseñar por color una actividad, pero si por la atmósfera que se quiere lograr. Una manera de lograrlo es a través del diseño según **armonía de color**.

El círculo cromático ordena de forma secuencial la progresión de los colores que forman el espectro de luz visible desde el rojo hasta el violeta. En color, armonizar significa coordinar los diferentes valores que el color adquiere en una composición, es decir, cuando en una composición todos los colores poseen una parte común al resto de los colores componentes. Lograr una armonía en el color ayuda al espacio a generar una armonía visual, haciéndolo más atractivo y agradable para el usuario.

Los siguientes tipos de armonías del color se basan en el libro *“Fundamentos visuales 2. Teoría del color”* de Anibal de los Santos Y.



Armonía en complementarios

Se encuentran simétricos respecto del centro de la rueda. La matriz varía en 180° entre uno y otro. Estos colores se refuerzan mutuamente de manera que un mismo color parece más vibrante e intenso, cuando se halla asociado a su complementario. Estos contrastes son, pues, idóneos para llamar la atención y para proyectos donde se quiere un fuerte impacto a través del color.



Fuente: woodgrain.



Fuente: woodgrain.



Fuente: dezeen.



Fuente: dezeen.

Armonía en adyacentes

Tomando como base un color en la rueda y después otros dos que equidisten del complementario del primero. El contraste en este caso no es tan marcado. Puede utilizarse el trío de colores complementarios, o solo dos de ellos. Este método abarca más posibilidades al tomar tres tonos, creando variaciones más trabajadas.



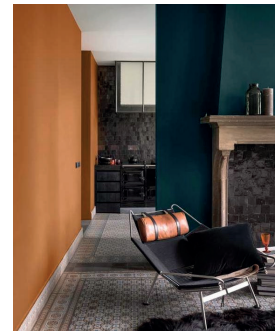
Fuente: woodgrain.



Fuente: comex.



Fuente: etsy.



Fuente: dezeen.

Armonía en analogía

Escala de colores entre dos siguiendo una gradación uniforme. Cuando los colores extremos están muy próximos en el círculo cromático, la gama originada es conocida también con el nombre de colores análogos. En razón de su parecido, armonizan bien entre sí. Este tipo de combinaciones es frecuente en la naturaleza.



Fuente: comex.



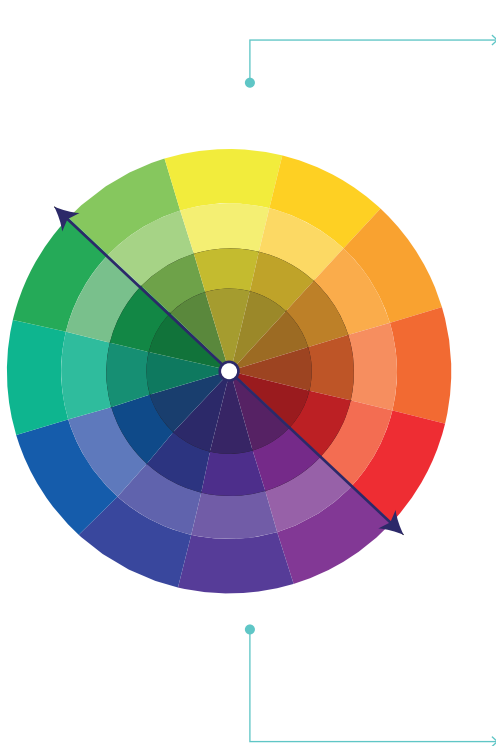
Fuente: etsy.



Fuente: behance.

Armonía en temperatura

Los colores cálidos son aquellos que van del rojo al amarillo en el círculo cromático y responden a la sensación térmica de calor. Usado para ambientes acogedores y con mayor intimidad. Por otro lado, están los colores fríos, que son aquellos que van del morado al verde en el círculo cromático y responden a la sensación térmica de frío.



Tono cálidos



Fuente: behance.



Fuente: comex.

Tono fríos



Fuente: comex.



Fuente: etsy.

3.4. Altura de techo

La altura del espacio es otro aspecto muy importante, entre más baja es la altura las personas se concentran en cosas más concretas, en cambio, cuando es de gran altura la persona se siente en libertad, lo que hace que sea más creativa. *“En el 2007, John Meyers, un profesor de marketing de la Universidad de Minnesota, colocó a cien voluntarios en una sala que tenía tres metros de altura; y a otras 100 personas en una sala con un techo de 2,40m. Entonces, les pidió que clasificaran una serie de deportes por categorías que ellos debían escoger. Meyers-Levy comprobó que aquellos que estaban en la sala con el techo más alto habían llegado a clasificaciones más abstractas y creativas, mientras que los del techo más bajo optaron por criterios más concretos. Quizás este tipo de techos son muy adecuados para un quirófano, en que el cirujano debe concentrarse bien en los detalles, mientras que techos altos puede que sean más apropiados para talleres de artistas o escuelas.”* (Saez, 2014).

Los espacios con **techos altos fomentan un pensamiento conceptual**, ya que se genera una sensación de libertad, estimulando el pensamiento creativo, mientras que los espacios de **techos bajos activan un estilo de pensamiento más concreto, enfocado y detallista, mejorando la concentración.**

Dentro de las posibilidades que entrega el diseño del módulo DMF, entran 3 categorías tomando la altura del centro transitable y los submódulos posicionados a los costados del espacio central.

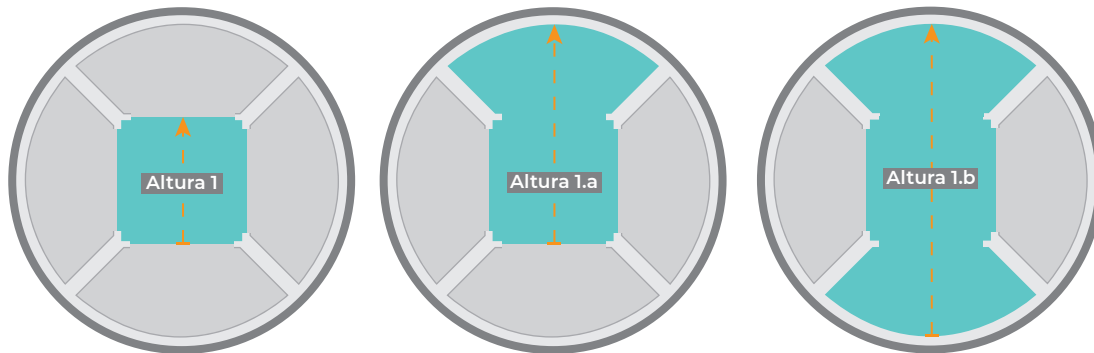
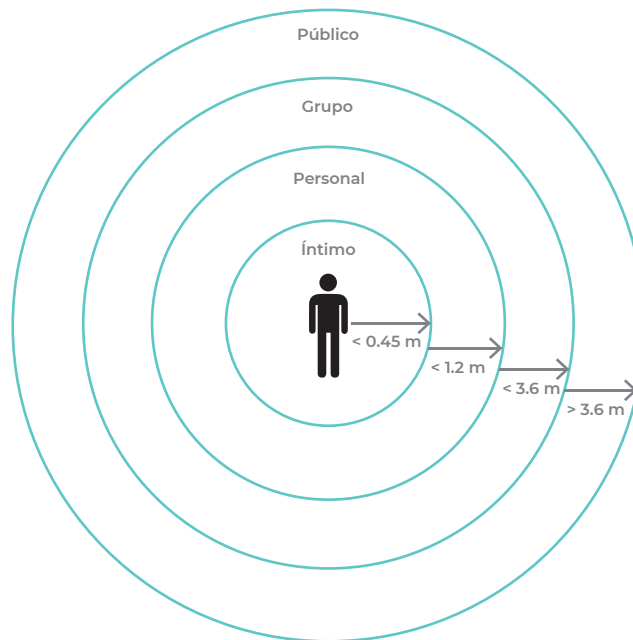


Diagrama de categorías de altura para módulos espaciales de configuración DMF. Elaboración propia.

3.5. Proximidad entre usuarios

El término hacer referencia a la percepción que el ser humano tiene de su propio espacio físico, intimidad personal y social, y cómo lo emplea para limitar o generar relaciones con los humanos. Los diseños arquitectónicos se basan en estudios del comportamiento social como el proxémico, entregando una noción de como el ser humano, al habitar un espacio, puede generar lazos o limitarlos.

En el contexto de pandemia vivido a nivel mundial, se empleó bastante este término a la hora de crear barreras sociales que ayudaban a limitar los contagios. Una situación similar de encierro ocurre en los ambientes orbitales. Es por esto que el uso de límites proxémicos al momento de diseñar puede servir de guía para, por ejemplo, determinar la dimensión de un espacio, dependiendo si está destinado para sociabilizar o tener un espacio de introspección.



Esquema de relaciones a través del estudio proxémico. Elaboración propia.

3.6. Puntos de referencia visual

La naturaleza un ambiente de microgravedad es la multi-orientabilidad, las estaciones espaciales que fueron analizadas resuelven este problema proponiendo un encuadre tradicional (arriba-abajo-derecha-izquierda) en la sección de los módulos, con la intención de familiarizar el ambiente orbital con el terrestre. Pero también se opta por este encuadre por seguridad de los tripulantes, que para trasladarse en microgravedad deben impulsarse por medio de manillas, las cuales deben estar cerca para hacer eficiente su trabajo.

El intento de orientación arriba- abajo, se puede demostrar cuando observamos la orientación de los diferentes equipos, zonas de trabajo e incluso las letras con las que cuentan los compartimentos.



Espacio de trabajo módulo Destiny ISS. Fuente: NASA.



Espacio de trabajo módulo central Tianhe. Fuente: CSS.

3.6.1. Gravedad artificial

Cómo consecuencia de la microgravedad, el cuerpo humano se deteriora bastante, sin considerar que el ambiente espacial se caracteriza por más condiciones ambientales (temperaturas extremas, radiación cósmica y solar, ausencia de presión atmosférica, micrometeoritos, etc.).

Los científicos continúan el desarrollo de distintas líneas de investigación que propongan solución o entendimiento a este fenómeno, el cual no es posible resolver por medio del diseño interior, sino más bien con un **mecanismo que genere gravedad artificial**.

Esta solución ha sido estudiada por disciplinas relacionadas con la ingeniería y arquitectura, llegando a diferentes mecanismos para generar un ambiente de 1G, similar al presente en la Tierra. Una de las soluciones más concretas son por medio de la **fuerza centrífuga**. A continuación, se muestra un diagrama que explica el principio físico de este mecanismo y en otro costado un gráfico que mostraría la zona de confort en estas dos variables. Este último se compone de cinco análisis gráficos, el rango de nivel de gravedad, radio de giro y velocidad angular, los cuales son representados con tonos desde el color rojo (zona de menor confort) hasta el verde (zona de mayor confort).

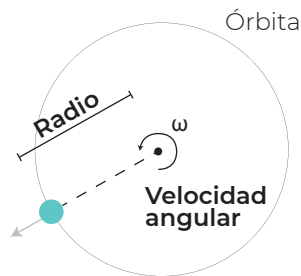
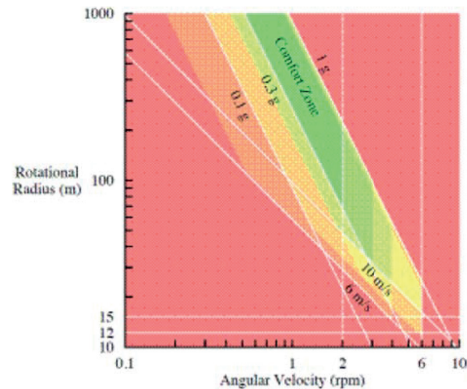


Diagrama de fuerza centrífuga.
Elaboración propia.



El "gráfico de comodidad" que muestra en la zona más verde, un rango de variables aceptables para los científicos. Fuente: Hall T. W., *Artificial Gravity*, 2009

3.7. Textura

El tacto brinda información que se procesa a través del cerebro, generando distintas sensaciones, originando estímulos y creando una interacción con el espacio que habita. Una de las ventajas que se puede señalar es la manera en la que la materialidad y sus texturas puedan relacionar un espacio con una experiencia anterior. Por lo que se puede usar para llevar el entorno terrestre a través de las texturas de los materiales en el diseño de los módulos espaciales.

Según un estudio realizado por Harvard Medical School, preferimos las curvas y contornos suaves antes que los contornos agudos, debido a que instintivamente sentimos peligro ante los objetos afilados. Los ángulos tienen incidencia sobre el cerebro, los espacios que tienen ángulos más marcados favorecen la aparición de estrés o ansiedad, ya que nos generan un estado de alarma, mientras que el uso de curvas o contornos suaves en espacios interiores da sensación de seguridad y comodidad (relacionados con texturas que existen en la naturaleza).

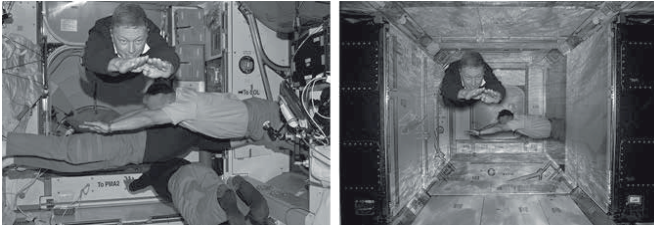
A continuación se agrupan los tipos de texturas que se usan comúnmente y la reacción que genera en el usuario, aplicables al entorno espacial.



3.8. Realidad virtual

Esta tecnología consta de la creación de un entorno o escenario ficticio con apariencia real, el cual se usa actualmente para trasladarnos a cualquier lugar o situación, con la ilusión de estar dentro de ese entorno. Estos se pueden generar por medio de una pantalla o gafas, en donde previamente exista un entorno llevado a algún programa 3D. El desarrollo de esta tecnología inmersiva trabaja principalmente con la percepción sensorial, usando la visión, el sonido o el tacto para generar esta realidad alterna.

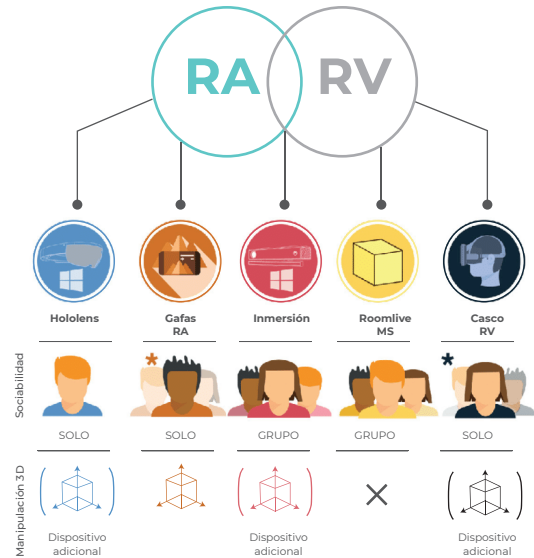
Este sistema puede ayudar a los astronautas a descansar sus sentidos y combatir la sensación de hermetismo generada por el entorno de las naves espaciales. Muchas veces la realidad virtual se ve perjudicada por el espacio en donde se ocupa, ya que requiere de un amplio sitio en donde las personas se puedan mover libremente, en el espacio la microgravedad podría representar una ventaja creativa, al no someterse a límites de movimiento. Por otro lado, los espacios que estén diseñados en gravedad artificial pueden ocupar implementos fijos.



Miembros de una tripulación en órbita realizando ejercicios de flotación y al costado un montaje simulando un espacio más amplio. Fuente ISS.



Implementos de realidad virtual fijos y al costado un montaje que muestra como se ve un espacio simulado. Fuente: OMNI



Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Fuente: Reelaboración propia, a partir de BBVA Innovation Center (2015). * La RA ya no es una acción aislada

4. Matriz para aplicar bases de la Neuroarquitectura al diseño

Para implementar los criterios de diseño en la configuración interior de un módulo espacial DMF, se crea esta matriz que determinará las principales características arquitectónicas. La tabla contiene los principales puntos que se han ido desarrollando a lo largo de esta guía.

A. Nombre del módulo:

Programa (s) arquitectónico (s):		Se nombra(n) el(los) programa(s) arquitectónico(s) que estará(n) presente(s) en el módulo. En caso de ser más de un programa, estos serán agrupados por afinidad (de acuerdo a la tabla realizada en el apartado con el mismo nombre).		
Parámetros generales de la misión	Objetivos de la misión Texto Se resume cuál es el propósito de tripulación, además de describir brevemente cómo esta tiene relación con el módulo que se va a diseñar.	Nº de tripulación y tiempo de la misión Texto + Diagramas En este punto se busca determinar la cantidad de usuarios y cuánto tiempo habitarán este espacio. El objetivo de transparentar este punto en la etapa de diseño, es reaccionar este parámetro con él(los) programa(s) arquitectónico(s) determinado(s).	Horario Texto + Diagramas En este apartado se hace un pequeño resumen de las actividades que se van a realizar en el módulo, además del tiempo que tomará desarrollarla.	Ergonomía Texto + Diagramas Especificaciones sobre las necesidades de comodidad en el espacio. Se muestra a través de diagramas las posiciones que se verán expuestas a hacer los astronautas para realizar las actividades correspondientes a este módulo. De esta forma se detectan las dimensiones mínimas que debe tener cada espacio.
	Iluminación Texto + Diagramas Requerimientos de iluminación del espacio: Temperatura de la luz, dirección y los niveles de iluminancia máximo y mínimo. Se adjuntan diagramas que complementen la información.	Vegetación Texto + Imagen objetivo Definir el equipamiento requerido para insertar un ambiente con vegetación y determinar qué características tendrá (si es cultivo o artificial). Se añade una imagen objetiva del diseño propuesto.	Color Texto + Diagramas En este punto se propone la paleta de colores que tendrá este espacio. Si tiene más de 1 ambiente se ordenarán por actividad.	Altura del techo Texto + Diagramas Según los diagramas explicados en esta guía, se decidirá la altura que tendrá el módulo, buscando estar acorde a la atmósfera que se quiere lograr.
Estrategias para el diseño del módulo	Proximidad entre usuarios Texto + Diagramas Se determina si el carácter del acercamiento entre usuarios, ya sea íntimo, personal, grupo o público. Esto variará entre el número de usuarios que ocupará el espacio y las características de las actividades que van a realizar.	Puntos de referencia visual Texto + Diagramas En este punto, se define la referencia que existirán en los espacios habitables y si el módulo estará en gravedad artificial o se mantendrá en microgravedad.	Textura Texto + Imagen objetivo Se definirá la materialidad y la textura de los cerramientos, sin modificar la estructura primaria. Debe estar de acuerdo a la atmósfera que se busca lograr.	Realidad Virtual Texto + Imagen objetivo Se propondrá estrategias e implementos para insertar la realidad virtual en los espacios, con el objetivo que generar mayor amplitud en el espacio.

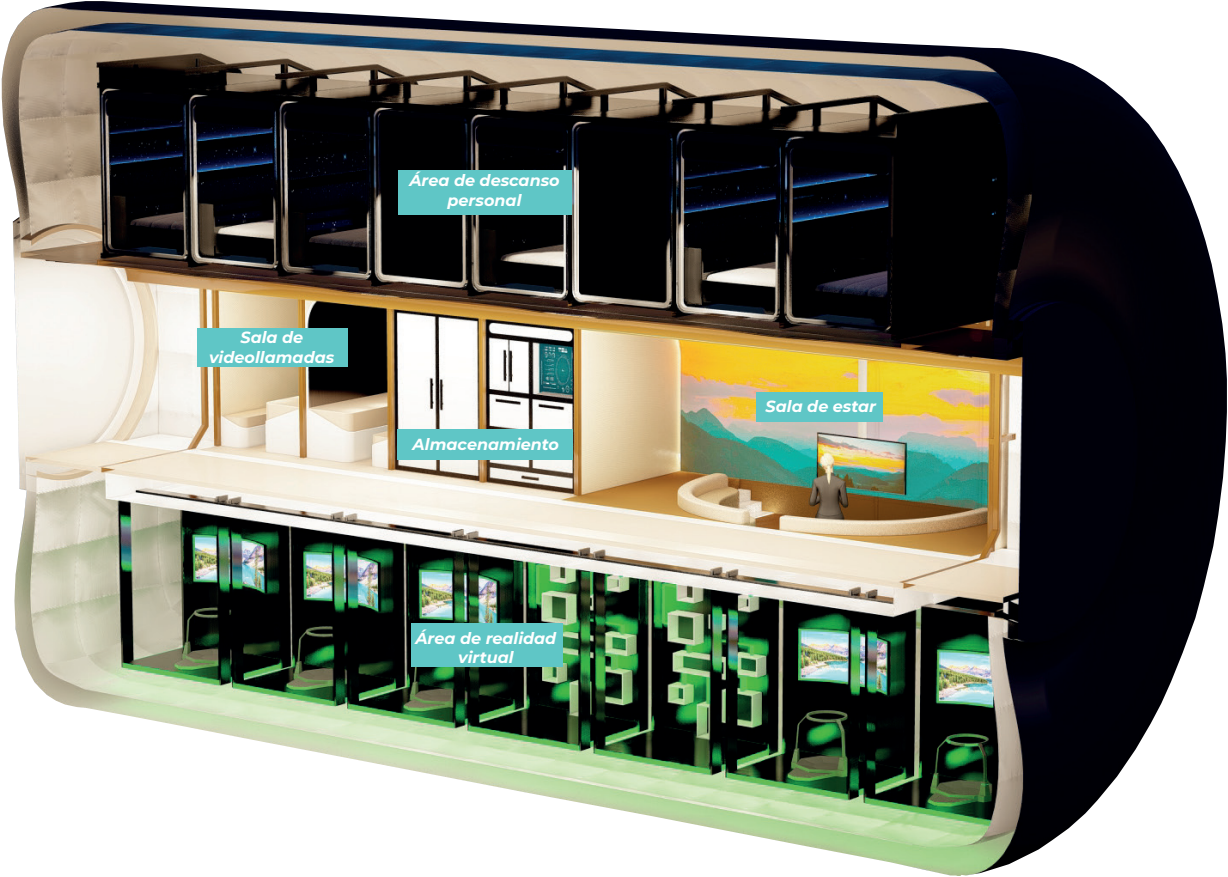
4.1. Prototipo módulo DMF

Se decide implementar la matriz de estrategias de diseño a nivel teórico en el espacio de descanso de los astronautas. Al diseñar este espacio se busca una atmósfera tranquila que brinde descanso a los astronautas. Además, de acuerdo a la tabla de afinidad entre programas, este se agrupará con el espacio de higiene, dado que se busca hacer un uso eficiente del espacio con una actividad pasiva y fija en el tiempo (y de acuerdo al horario de la tripulación es compatible espacialmente).

Módulo de descanso e higiene

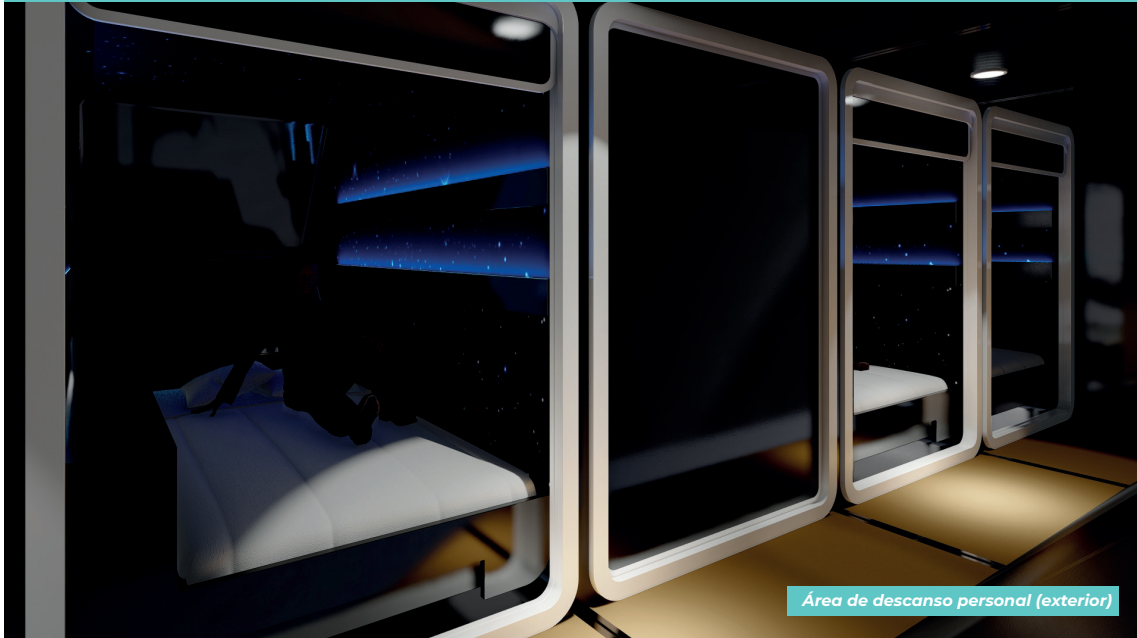
	Programa (s) arquitectónico (s):	Dormir e higiene. Del primero comprende las actividades de: Sala de estar, Sala de videollamadas de familiares, almacenamiento personal, área de realidad virtual y área de descanso personal. Del segundo programa consiste en: Ducha, almacenamiento de productos de higiene y WC.											
Parámetros generales de la misión	Objetivos de la misión La misión espacial consistirá en un viaje a la Luna, de carácter exploratorio en la superficie. En el marco de las primeras misiones (Artemisa III) primero se orbitará y luego se descenderá a la superficie para instalar equipos que ayudará a obtener información del suelo Lunar, proyectando una futura instalación fija.	N° de tripulación y tiempo de la misión  El número de tripulantes será de 6 personas en un viaje de duración de 1 mes hasta 3 meses y medio	Horario Horas del día en donde el espacio será de uso activo por la tripulación: 07:00 - 08:30 Higiene personal (1) 21:00 - 22:00 Tiempo libre 22:00 - 23:00 Higiene personal (2) 23:00 - 07:00 Dormir Uso aproximado de horas al día: 11,5 (de 24 hrs)	Ergonomía Las posturas de este espacio serán por lo general erguidos y de descanso.  <table border="1" data-bbox="1252 614 1420 678"> <thead> <tr> <th>Tendencia de asiento</th> <th>Dimensión mínima</th> <th>Dimensión preferente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A. Altura</td> <td>55 cm</td> <td>65 cm</td> </tr> <tr> <td>B. Longitud</td> <td>180 cm</td> <td>190 cm</td> </tr> </tbody> </table>	Tendencia de asiento	Dimensión mínima	Dimensión preferente	A. Altura	55 cm	65 cm	B. Longitud	180 cm	190 cm
Tendencia de asiento	Dimensión mínima	Dimensión preferente											
A. Altura	55 cm	65 cm											
B. Longitud	180 cm	190 cm											
Estrategias para el diseño del módulo	Iluminación Considerar el ciclo circadiano y la atmósfera de descanso de este espacio.  Descanso y relajación: *Luz cálida *Luz blanca cálida *Luz amarilla.	Vegetación Se requiere la implementación de vegetación artificial. Por lo que se propone muros de vegetación en los muros que queden sin uso en el espacio comunitario. 	Color Se buscará implementar colores cálidos, de acuerdo a la atmósfera de descanso. 	Altura del techo Al ser un espacio de descanso, se busca una atmósfera con baja estimulación, por lo que se opta por la altura más reducida entre el piso y el techo. 									
Proximidad entre usuarios Si el contacto entre usuarios será baja, dadas las actividades de índole personal que se desarrollan en este espacio la proximidad será de carácter íntimo. Pero al existir un área común, este parámetro se extenderá hasta lo grupal. 	Puntos de referencia visual Al tener un poco menos de la mitad de horas de uso, en este módulo se priorizará el uso de gravedad artificial que simule a la de la tierra. Además, los puntos de referencia contarán con la implementación de luz en la parte superior del espacio de tránsito, simulando la luz del sol.	Textura Se decide implementar materialidad que refleje un ambiente de relajo, como lo son las texturas lisas y suaves. 	Realidad Virtual Se instalará una pantalla LCD (simula una ventana) para la tripulación en el espacio común. Además, se implementará un área de realidad virtual de uso individual (artefactos fijos). 										

4.2. Imágenes objetivo

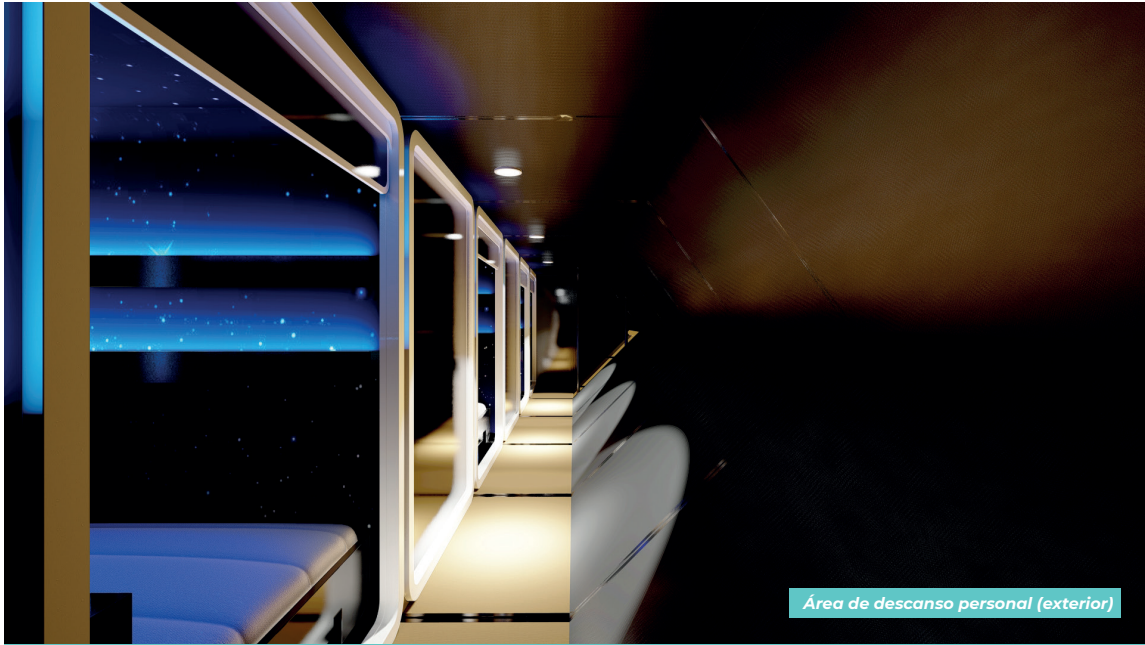




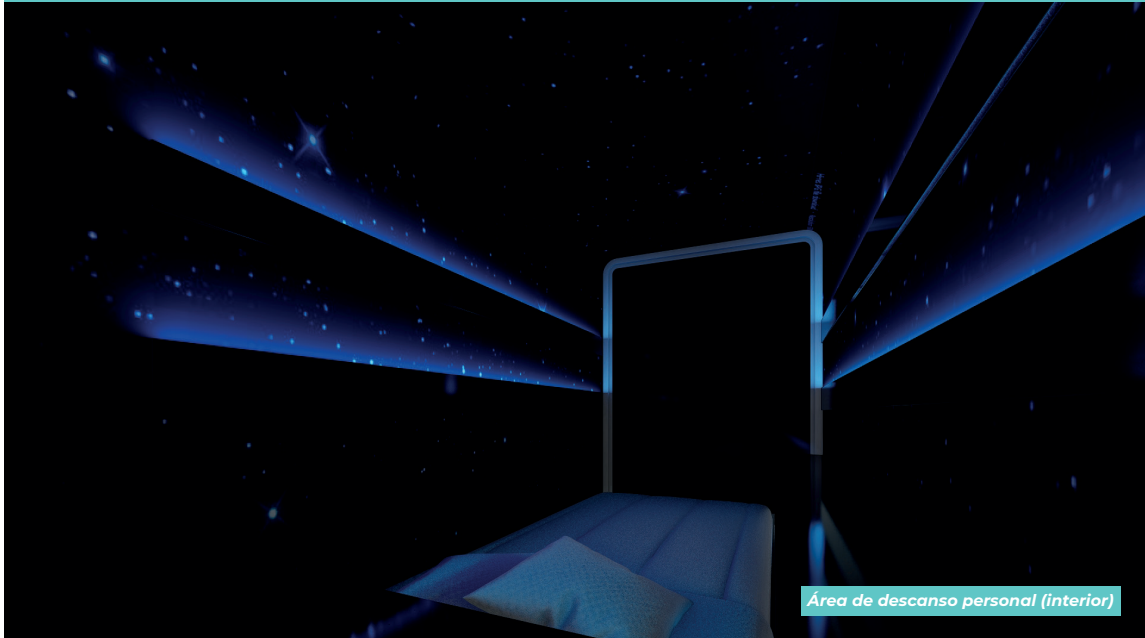
Área de descanso personal (exterior)



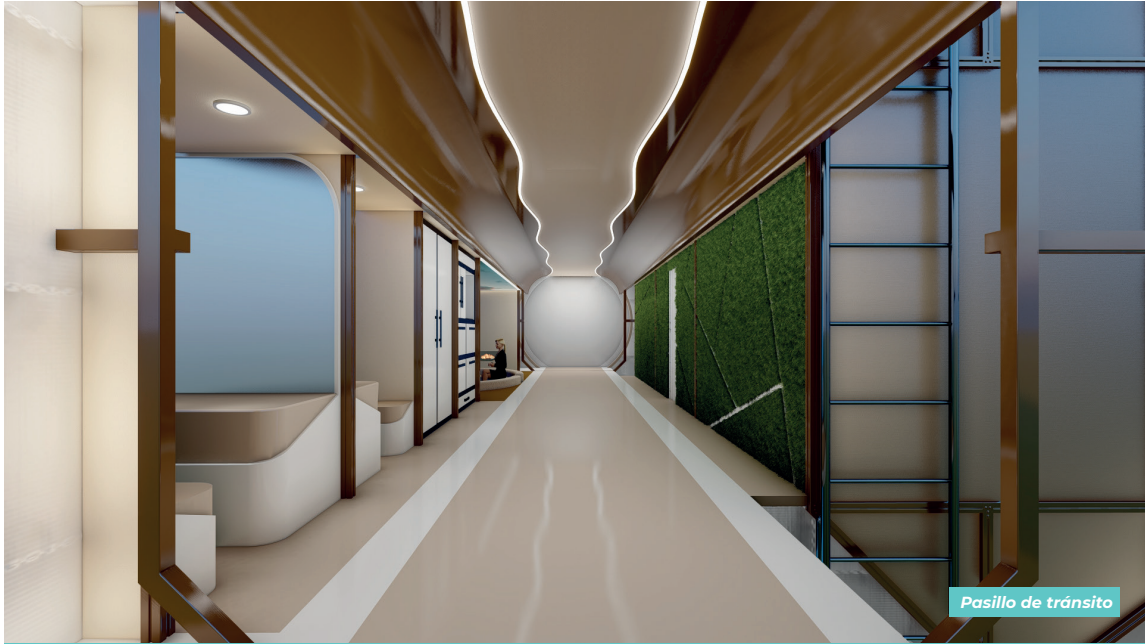
Área de descanso personal (exterior)



Área de descanso personal (exterior)



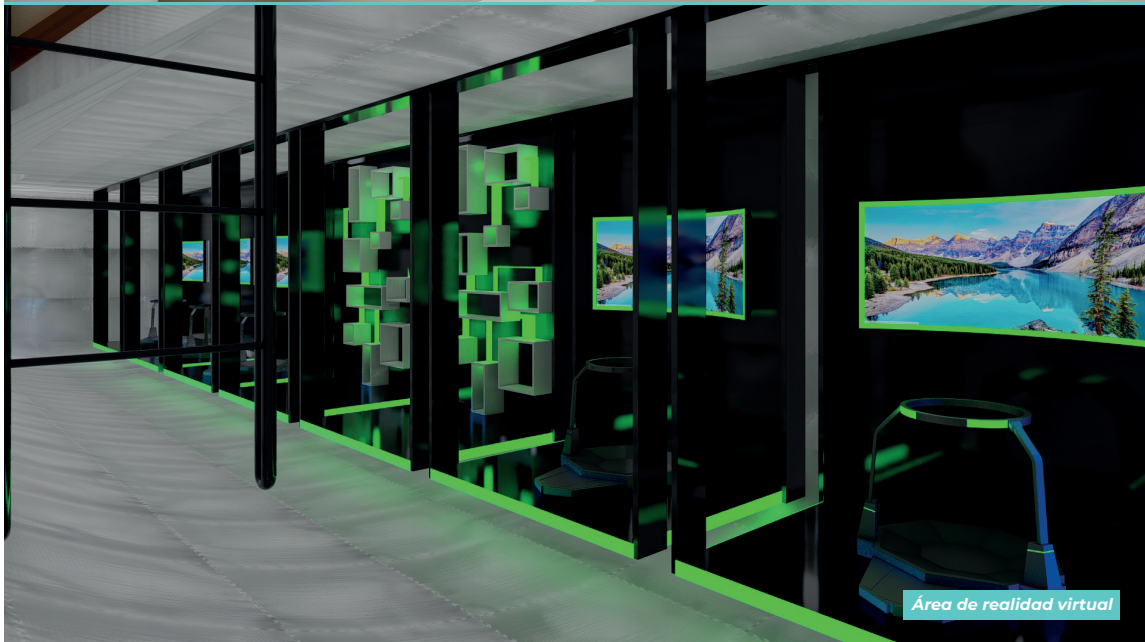
Área de descanso personal (interior)



Pasillo de tránsito



Sala de estar (área comunitaria)



5. Bibliografía:

- Hall T. W., Artificial Gravity, 2009, [Howe and Sherwood, op. cit., Chapter 12
- Robles, Jorge y Arista González, Gerardo. (2016). Monitoreo y Simulaciones del Hábitat.
- Toon, Owen B. (1997). «Condiciones ambientales en la tierra y en otros mundos». En Cambridge University Press, ed. El Universo de Carl Sagan. pp. 67-82.
- Bucknell.edu – Astronomy 101 Specials: Newton's Cannonball and the Speed of Orbiting Objects.
- M. Baliscei, A. Rodrigues. (2016). Microgravity indoor, Microgravidade em recintos fechados. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, nº 2, e2502.
- Composición de la atmósfera | Climatic | Educaplus(2022). [online] Disponible en https://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html [Visitado el 27-7-2022].
- Revista GEO. (2021). ¿Cuál es la temperatura del espacio?. URL: https://www.mundo-geo.es/conocimiento/cual-es-temperatura-espacio_237632_102.html
- Eureka, el Blog de Daniel Marin. (2011). La radiación en el espacio. URL: <https://danielmarin.naukas.com/2011/03/23/la-radiacion-en-el-espacio/>
- Dunbar B, NASA. (2020). Requisitos para los astronautas. Última actualización el 14 de enero de 2022. URL: https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Astronaut_Requirements.html.
- China Power Team. "What's Driving China's Race to Build a Space Station?" China Power. December 7, 2016. Updated April 21, 2021. Accessed July 30, 2022. <https://chinapower.csis.org/chinese-space-station/>.
- Spaceflightnow.com. "Assembly of Chinese space station begins with successful core module launch. April 29, 2021. Accessed July 30, 2022. <https://spaceflightnow.com/2021/04/29/assembly-of-chinese-space-station-begins-with-successful-core-module-launch/>
- Nasaspaceflight.com. "China launches Tianhe module, start of ambitious two-year station construction effort". April 28, 2021. <https://www.nasaspaceflight.com/2021/04/china-station-construction-begins/>
- Overbye D. (2021). Home Sweet Home in Orbit. Revista The New York Times. <https://www.nytimes.com/2020/11/02/science/space-station-astronomy.html>
- Sputnik. (2021). Un estudio revela duración óptima de las misiones espaciales tripuladas. Revista Sputnik News. <https://mundo.sputniknews.com/20210831/un-estudio-revela-duracion-optima-de-las-misiones-espaciales-tripuladas-1115603662.html#>
- Lockley. S.W., "Influence of Light on Circadian Rhythmicity in Humans." Squire L.R.(Ed.), Encyclopaedia of Neuroscience. Oxford, UK. (2008).
- Borchers AT, Keen CL, Gershwin ME. Microgravity and immune responsiveness: implications for space travel. Nutrition. 2002;18(10):889-98.]

Administration, N. A. (2010). Reference guide to the international space station. Washington, DC: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Häuplik-Meusburger, S. (2011). Architecture for Astronauts: An Activity-based Approach. New York: Springer.

ISECG, I. S. (2020). Global Exploration Roadmap, Lunar surface exploration scenario update. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration Headquarters.

NIGMS, N. I. (2017). Hoja informativa sobre los ritmos circadianos. NIGMS.

Raúl Carrillo Esper, Juan Alberto Díaz Ponce Medrano, Carlos Alberto Peña Pérez, Oscar Iván Flores Rivera, Adriana Ortiz Trujillo, Osvaldo Cortés Antonio, Joel Cruz de Jesús, Luis Miguel Ménez Saucedo. (2015). Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24.

Tiangong. (29 de abril de 2021). Wikipedia. Obtenido de

[https://es.wikipedia.org/wiki/Tianhe_\(m%C3%B3dulo_de_la_estaci%C3%B3n_espacial_china\)#/media/Archivo:Tianhe_final_art_310819.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Tianhe_(m%C3%B3dulo_de_la_estaci%C3%B3n_espacial_china)#/media/Archivo:Tianhe_final_art_310819.jpg)

Y, A. d. (2010). Fundamentos visuales 2, la teoría del color. Obtenido de Fundamentos visuales 2, la teoría del color:

<https://adelossantos.files.wordpress.com/2010/10/teroria-del-color.pdf>

